عالم المعرفة

تكنولوجيا الطاقة البديلة

د. سعود يوسف عياش

سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب - الكويت

تكنولوجيا

الطاقة البديلة

د. سعود يوسف عياش

٣، ـ ربيع الأول/ ربيع الثاني ١٤٠١هـ ـ فبراير (شباط) ١٩٨١ م

المراسلات :

توجه باسم السيد الأمين العام للمجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب

ص.ب ٢٣٩٩٦ الكويت

تكنولوجيا

الطاقة البديلة

تقديم

أقدم لجمهور قراء سلسلة **عالم المعرفة** كتاب **تكنولوجيا الطاقة البديلة** آملاً أن يجدوا فيه ما يفيد من المعلومات والآراء والأفكار والمواضيع حول مسألة تعدى الاهتمام بها الكثير من الأطر التقليدية لتصبح أمراً مهماً بالنسبة للجميع.

إن مجموعة الآراء والأفكار والمواضيع الواردة في هذا الكتاب هي نتاج بحث واطلاع على العديد من المصادر العلمية، ووليدة مناقشات وتبادل آراء مع العديد من الأكاديميين والمهتمين بموضوع الطاقة البديلة من جوانبها المختلفة، وثمرة علاقة مهنية عملية ببعض مصادر الطاقة البديلة.

وغني عن القول أنني أتحمل مسؤولية الآراء والأفكار المطروحة في هذا الكتاب مع أنها ليست نتاج جهد ذاتي فقط. ومع تحمل هذه المسؤولية فإني أتوجه بالشكر والعرفان لكل من أسهموا بشكل مباشر وغير مباشر في إغناء وإثراء وصقل المفاهيم والأفكار المطروحة في هذا الكتاب. ولهذا أود أن أسجل شكري وتقديري **للأستاذ زهير الكرمي** من شركة فواز للتبريد، **والدكتور عبد علي الصايغ** استاذ الهندسة الميكانيكية في جامعة الرياض، **والدكتور عبدالإله أبوعياش** من جامعة الكويت، والبروفسور **دافيد ماكوم** استاذ الهندسة الميكانيكية في جامعة أدنبرة ـ اسكتلنده. كما لا يفوتني أن أتوجه بالشكر الى الزملاء في قسم الطاقة بمعهد الكويت للأبحاث العلمية والى العاملين في مركز المعلومات في المعهد على ما قدموه من مساعدة أثناء اعداد هذا الكتاب. والله الموفق.

د. سعود عياش

اكتوبر ١٩٨٠ م ـ الكويت

مقدمة

لم يعد موضوع الطاقة أمراً يقتصر الاهتمام به على الأكاديميين وذوي الاختصاص وصانعي القرارات الاقتصادية والسياسية بل إنه تعدى تلك الأطر ليصبح موضع اهتمام الجميع بغض النظر عن مواقعهم الوظيفية والاجتماعية. ولا غرابة في أن يتوسع الاهتمام بموضوع الطاقة بهذا الشكل ذلك أننا كأفراد أصبحنا معنيين بمستقبل موارد الطاقة في مناطق تواجدنا بشكل خاص وفي العالم بشكل عام. فلم تعد الطاقة تؤثر في مستوى رفاهنا اليومي وطريقة تصريف أمورنا الحياتية فقط بل إنها تتخذ أهمية أكثر شمولاً تتعلق بالقضايا المصيرية للمجتمعات المختلفة.

وقد برز الاهتمام بموضوع الطاقة في العقود القليلة الماضية غير أنه لم يتخذ طابعه الشمولي سوى خلال عقد السبعينات، وتحديداً عشية التطورات التي شهدها وضع الطاقة العالمي في أواخر عام ١٩٧٣م. وقد تأكد للجميع عقب تلك التطورات أن المسألة ليست مرتبطة بتغير أسعار النفط والغاز بل انها أكثر أهمية من ذلك وتتعلق بقدرة المخزون الاحتياطي من هذه المصادر، وغيرها من المصادر القابلة للنفاذ، على تلبية الطلب المتزايد على الطاقة من جانب دول العالم المختلفة. لقد بدأ الأمر آنذاك وكأن العالم قد صحا من حلم جميل ليواجه حقائق لا مهرب منها.

وكانت النتيجة المنطقية لتلك الصحوة أن أخذ العالم يبحث عن حلول بديلة على أمل أن يعيش فترة انتقالية يستطيع أثناءها الانتقال من الاعتماد على المصادر الأحفورية للطاقة الى الاعتماد على مصادر أكثر ديمومة وأقل

تلويثاً للبيئة. ولم يكن في جعبة الانسان سوى العودة الى الأيام الماضية السعيدة ليعيد اكتشاف كيف تمكنت الأجيال الماضية من العيش قروناً طويلة دون نفط ولا غاز ولا فحم. وفي بحثه هذا لم يجد الانسان بدأً من العودة الى الطبيعة الأم محاولاً تطويع معطياتها الخيّرة وتسخيرها لخدمة استمرار تطوره الحضاري.

وقد يتساءل بعض الناس عن جدوى اهتمام هذه المنطقة بموضوع مصادر الطاقة البديلة في الوقت الذي تمتلك احتياطياً هائلاً من النفط والغاز يكفيها قروناً قادمة. وفي الاجابة على هذا السؤال فإننا سنتجاوز أطر النقاش البراغماتي المتعلقة بالفوائد الاقتصادية ومصلحة الأجيال القادمة وغيرها من الأسباب المقنعة الأخرى لنصل الى التأكيد على حقيقة أهم من ذلك بكثير وهي أن مستوى رقي الإنسان وتحضره مرتبط بشكل وثيق، يصل حد الاطلاق، بقدرته على التعامل مع المعطيات البيئية التي يعيش ضمنها وتطويع هذه المعطيات لخدمة أغراض تطوره ورقيه الحضاريين. فلم يحصل في التاريخ البشري أن استطاعت مجموعة بشرية العيش طويلاً حين دخلت في حالة عداء مع بيئتها، ولن يكتب لأي مجموعة بشرية أن تحقق أيا من الانجازات الحضارية اذا ما سارت على هذا الطريق.

ونذكر على سبيل المثال لا الحصر أنه حصل أن تبنينا في العقدين الماضيين — تحديداً — أنماطاً من العمارة والبناء لا تتناغم وأبسط المعطيات البيئية التي نعيش فيها. وكانت النتيجة أننا ندفع الآن ثمناً غالياً على أصعدة مختلفة؛ منها اختفاء ذلك التراث المعماري العظيم الذي خلفه لنا الأوائل، وفقدان مدننا لشخصيتها التي طالما ميزتها عن باقي مدن العالم عبر التاريخ، وأخيراً، استنزاف بعض مواردنا من الطاقة لجعل الحياة ممكنة في بيوت وبنايات عيبها الأساسي أنها غريبة ومغتربة عن بيئتها.

من هذا المنطلق نرى ضرورة وأهمية التطرق الى مصادر الطاقة البديلة كجزء من اهتمام أعم وأشمل بالبيئة ومعطياتها. وبهذا تسقط الكثير من

الحواجز بين الفرد العادي والفرد المختص، ذلكم أن الأمور تطرح هنا ضمن بعدها الاجتماعي والبشري لا الأكاديمي المجرد فقط. وقد حاولنا جهدنا أن نطرح المواضيع الواردة في هذا الكتاب ضمن هذا التصور دون الاجحاف بحقوق الحقائق العلمية مع عدم الغرق في الترف الأكاديمي.

يقع هذا الكتاب في تسعة فصول تغطي معظم مصادر الطاقة البديلة والمسائل المرتبطة بها. ففي الفصل الأول نتطرق الى وضع الطاقة على الصعيد العالمي لنرى كيف تبدو الصورة حالياً واحتمالاتها المستقبلة لنصل في نهايته بضرورة البحث عن المصادر البديلة وتطويرها كمهمة ملحة وعاجلة. وفي الفصول الستة اللاحقة نتطرق الى المصادر المختلفة للطاقة البديلة حيث نبدأ بالطاقة الهوائية فالطاقة الحرارية في البحار والمحيطات فطاقة المد والجزر ثم الطاقة الحرارية في باطن الأرض. ومن ثم نتطرق الى المخلفات الحيوية ومحاصيل الطاقة والى الهيدروجين باعتباره وقوداً مستقبلياً. وأما في الفصل السابع فسنتطرق الى موضوع الطاقة الشمسية بشكل مفصل. وقد عملنا على التوسع في موضوع الطاقة الشمسية لأهميته الكبرى وعلاقته بظروف المنطقة البيئية. وحاولنا أن نقدم موضوعاً يصلح في تقديرنا لمن يود الاطلاع العام ولمن يرغب في معرفة تفاصيل أكثر حول الموضوع.

ويتناول الفصل الثامن موضوع حفظ الطاقة وصيانتها. وقد أفردنا فصلاً خاصاً لهذا الموضوع نظراً للأهمية المتزايدة التي يحظى بها. إن وضع الطاقة القائم في العالم يتطلب أقصى درجات العقلانية في التعامل مع مصادر الطاقة ويتطلب ضرورة التعامل معها من منطلق أن استهلاك الطاقة وسيلة لخدمة أغراض الانسان وليس هدفاً في حد ذاته. أما الفصل التاسع والأخير فيتناول بعض الخصائص العامة لمصادر الطاقة البديلة اضافة الى التطرق الى امكانات ومجالات تطويرها المستقبلي.

وآمل أن يجد الكتاب قبولاً لدى جمهور القراء، والله الموفق.

الفصل الأول

وضع الطاقة على الصعيد العالمي

تقول الاسطورة اليونانية إن بروميثوس أعطى سر النار للانسان، وانه جزاء على فعلته هذه مازال مصلوبا على صخرة. ومنذ تلك اللحظة التي اكتشف أو تعلم الانسان فيها سر النار وهو يسعى في طلب المزيد والمزيد منها كأنه لا حدود لاحتياجاته ومتطلباته من النار. والنار التي نقل بروميثوس سرها للانسان ليست في الواقع الآ الطاقة، ومع ادراك الانسان الأول لسر الطاقة وأهميتها في حياته تفتحت أمامه آفاق جديدة واسعة كانت تزيد من قدرته على تطويع المعطيات الطبيعية وتسخيرها لمصلحته، وتزيد في ذات الوقت من قدرته على السيطرة على الطبيعة وعلى الكائنات الحية فيها ليتحول تدريجيا الى سيد للطبيعة وأقوى كائن حي فيها.

ولو جاز لنا أن نقرأ التاريخ البشري من وجهة نظر الطاقة لوجدنا أن الحضارة الأقوى في التاريخ هي تلك التي كانت تجيد استعمال الطاقة بشكل أكثر فاعلية وانتاجا من الحضارات الأخرى، فالذين اكتشفوا النار في البداية كان باستطاعتهم حرق مناطق أعدائهم والتغلب عليهم. وكان باستطاعتهم أيضا أن يصهروا المعادن لصناعة الأسلحة والأدوات للسيطرة على شعوب أخرى ودرء أخطار الكائنات الحية الأخرى بل وصيدها وزيادة مخزونهم من الطعام، والذين اكتشفوا قدرة الرياح على تحريك السفن الشراعية كان باستطاعتهم الانتقال والمتاجرة واكتشاف مناطق جديدة والسيطرة عليها وضمها الى ممتلكاتهم ومناطق نفوذهم.

وتتضح لنا أهمية الطاقة في تشكيل التاريخ البشري إذا نظرنا الى تاريخ العالم في القرون الثلاثة الماضية. ففي تلك الفترة كان الانسان يدخل عصر استعمال الفحم الحجري كمصدر للطاقة بديلا عن الأخشاب، وقد تم للأمم التي تمتلك احتياطيا كبيرا من الفحم الحجري أن تتطور بسرعة أكبر من غيرها، وتم لاحدى هذه الأمم (بريطانيا) أن تبني امبراطورية شاسعة وأن تصبح أقوى دول العالم، الاّ أن اكتشاف النفط واستعماله كمصدر للطاقة اضافة الى ما يتمتع به من ميزات على الفحم قد جعل منه سيد مصادر الطاقة وأعطى المتعاملين به امكانات أوسع للتفوق على الآخرين. وهكذا ترافق صعود الولايات المتحدة كقوة عظمى في العالم مع اكتشافها للنفط واستخدامه. وفي العقود القليلة الماضية دخل الانسان عصر الذرة الذي ظهر فيه عملاق آخر في العالم الى جانب الولايات المتحدة ونقصد بذلك الاتحاد السوفيتي.

وبالطبع، لم يكن توفر الطاقة ومصادرها هو العامل الحاسم في التاريخ البشري اذ أن كل المصادر المعروفة للطاقة كانت موجودة في الطبيعة منذ قدوم الانسان. بل إن العامل الحاسم والمهم كان وسيبقى قدرة الانسان على استغلال هذه المصادر وتطويعها لخدمة أغراضه أيا كانت، عدوانية أو دفاعية، سلمية أو حربية، بنّاءة أو مدمرة. هكذا كانت الطاقة وهكذا ستبقى واحدة من معطيات الطبيعة التي يتعين على الانسان استخدامها وتطويعها والتعامل معها وبالتأكيد فان كيفية الاستخدام والتطويع والتعامل هي التي حددت ماضي الانسان بل وستحدد مستقبله.

قلنا ان اكتشاف الانسان للطاقة واستخدامها كان يزيد من معارفة ويوسع مداركه ويزيد من مستوى سيطرته على الطبيعة. وكان هذا في ذات الوقت يزيد من قدرات الانسان على اكتشاف المزيد من مصادر الطاقة الجديدة ويرفع من مستوى استخدامه للمصادر القديمة والحديثة. وهكذا فقد دخل موضوع الطاقة في سلسلة من الارتقاء كانت كل حلقة

فيها تفتح الآفاق أمام الوصول الى حلقات أخرى. فمثلا دخل الانسان عصر الفحم الحجري في الفترة التي كانت فيها غابات أوروبا تضمحل وتنحسر رقعتها في بعض مناطقها وبشكل خاص في بريطانيا. وقد أدى اكتشاف الفحم الحجري الى استمرار الثورة الصناعية في توسعها وتطورها. ومع أواخر القرن التاسع عشر حين كانت هناك بعض الأصوات التي تحذر من استنزاف ألاحتياطي المؤكد من الفحم الحجري كان العالم يدخل عصر النفط. ولم تمض فترة قرن واحد من الزمان حتى كان الكثير من الأجراس تقرع منبهة الى أن عصر النفط يقترب من نهايته ولابد من البحث عن مصادر بديلة. في تلك المرحلة ـــ التي نشهد جزءا منها في يومنا هذا ـــ دخل الانسان عصر الطاقة النووية وازداد الحديث ليس فقط عن مصادر الطاقة بالانشطار النووي بل وعن تطوير تكنولوجيا الاندماج التي ان نجحت فستمنح الانسان مصدرا من الطاقة يكاد يكون أبديا.

أدى التطور الارتقائي لمصادر الطاقة إلى تكوين قناعة عامة بأن العلم والتكنولوجيا لابد وأن يجدا مصادر جديدة للطاقة وانهما لن يعدما وسيلة لتقديم حل للأزمات التي قد يواجهها الانسان، وقد تبدو هذه الفكرة وسادة مريحة نضع عليها رؤوسنا ونريحها من عناء التفكير بمشكلة العصر التي هي محدودية مصادر الطاقة الحالية، وتحديدا مصادر الطاقة الاحفورية من فحم وغاز ونفط. غير أنه لم يعد بوسعنا ان نغمض أعيننا عن محدودية مصادر الطاقة الحالية ولا أن نضع كل البيض في سلة العلم والتكنولوجيا.

وحين يتحدث أحد العلماء عن طاقة الاندماج النووي كحل لأزمة الطاقة فانه يقصد في الواقع خلق شموس صغيرة الحجم جدا على الأرض تصل درجة حرارة بعضها الى مائة مليون درجة، وبعبارة أخرى فانه يقصد خلق جهنم أرضية لحل أزمة الطاقة.

والسؤال الذي يتبادر الى الذهن هو: لماذا يلجأ الانسان الى صنع «جهنم» صغيرة؟ والجواب: كي يستمر «النعيم» الأرضي. فالانسان يرى

نهايات الطرق والسبل المتاحة أمامه لأرواء عطشه من الطاقة، الآ أنه يرى في ذات الوقت طريقا واحدا لانهاية له وهو صنع تلك «الجهنم» الصغيرة المتمثلة بمفاعل الاندماج النووي.

وسنقوم في هذا الفصل بالتطرق الى وضع الطاقة على الصعيد العالمي وتحديد ملامح الصورة كما يراها ذوو الاختصاص. وسننظر الى آفاق مصادر الطاقة الحالية الشائعة الاستعمال والزمن الذي يمكنها أن تصحبنا أو أن نصحبها فيه. وفي خلال هذه الفترة سيتعين على الانسان اختيار الطريق الذي سيسلكه لتأمين حاجته من الطاقة في المستقبل. وسنتطرق الى وضع الطاقة على الصعيد العالمي بمعالجة الجوانب التالية: ـــ

- المصادر الحالية للطاقة.
- الاستهلاك الحالي والمستقبلي للطاقة.
- المخزون التقديري من الطاقة.
- المصادر المستقبلة والبديلة.

المصادر الحالية للطاقة(١):

المقصود بالمصادر الحالية للطاقة تلك المصادر التي تزود البشر بالجزء الأساسي والأكبر من احتياجاتهم من الطاقة. فللآن مازال بعض الناس يعتمدون على أخشاب الأشجار في تلبية جزء من متطلباتهم من الطاقة، كما أن بعضهم الآخر مازال يعتمد على الحيوانات في التنقل وحمل الحاجيات والحراثة، ونجد بعضهم يستخدم مصادر الطاقة المتجددة كالطاقة الشمسية والهوائية للحصول على بعض متطلباته من الطاقة، الآ أن هذه المصادر مجتمعة ليست ذات قيمة كمية تذكر بالمقارنة مع ما يستهلكه

١ـ McMullan, J.T, Morgan, R. Murray, R.B. Energy Resources and Supply. John wiley and Sans, London 'England, 1976, PP, 66-93, 342 - 344.

الانسان من مصادر أخرى.

يمكننا تقسيم مصادر الطاقة الحالية في العالم الى ثلاثة أقسام أساسية :

١ ــ مصادر الطاقة الاحفورية وهي التي تشكل عصب مصادر الطاقة الحالية وتضم :
أ ــ الفحم بأنواعه المختلفة
ب ــ النفط
جـ ــ الغاز
٢ ــ المصادر المائية والمقصود بذلك مصادر الطاقة الكهربائية في مساقط الأنهار.
٣ ــ الطاقة النووية ويقصد بها محطات توليد الطاقة الكهربائية باستعمال الحرارة الناتجة عن عمليات الانشطار النووي في المفاعلات النووية.

١ ــ المصادر الأحفورية

تقول النظرية الشائعة في تفسير تكون مصادر الطاقة الأحفورية إنها تكونت جميعا من تحلل كائنات حية في بيئة معدومة الهواء. وقد نتج عن هذا التحلل تكوّن مواد عديمة التأثر بعمليات التحلل اللاحقة، بمعنىً أن عمليات التحلل اللاحقة لم تؤثر في مخزون الطاقة في هذه المواد وان كانت قد أحدثت بعض التغيير في تراكيبها العضوية. وتشترك مصادر الطاقة الأحفورية في أنها تتكون جميعا من مواد هيدروكربونية (مركبات الكربون والهيدروجين) اضافة الى نسب مختلفة من شوائب أخرى كالماء والكبريت والأوكسجين والنيتروجين وأكاسيد الكربون. وتختلف نسبة الكربون والهيدروجين في المصادر الأحفورية من مصدر الى آخر، فالفحم مثلا يتكون من الكربون بشكل أساسي. وبشكل عام كلما ارتفعت نسبة

الكربون أو الهيدروكربونات في المادة ارتفعت كمية الطاقة المخزونة فيها، وتتكون مصادر الطاقة الأحفورية من المواد التالية: ـــ

أ ــ الفحم:

ظهرت أهمية الفحم الحجري كمصدر للوقود في عصر الثورة الصناعية في أوروبا الغربية ومنها انتشر استعماله الى بقاع أخرى من الأرض حيث يتوفر مخزون منه. ويندرج تحت مفهوم الفحم الحجري عدة أنواع من الوقود تختلف في تركيبها العضوي وكمية الطاقة المتوفرة في وحدة الوزن منها. وأهم أنواع الفحم هي:

١ ــ الخث:

يعتبر الخث الحلقة الأولى في مسلسل تكون الفحم بمعنى أنه لم يتحول الى فحم بصورة نهائية بل يتميز بوجود بقايا النباتات فيه. والخث مادة طرية بالمقارنة مع أنواع الفحم الأخرى ويحتوي على نسبة كبيرة من الماء تصل الى ٩٠٪، ويحتوي على نسبة قليلة من الكربون وبعض المواد المتطايرة. يبلغ احتياطي العالم من الخث حوالي ثلاثمائة الف مليون طن ويقدر معدل الاستهلاك بحوالي تسعين مليون طن في السنة. ومن المتوقع أن يجرى استغلال هذا المصدر على مستوى واسع خاصة اذا طال أمد أزمة مصادر الطاقة التي يعيشها العالم. وتتركز الاستعمالات الحالية للخث على تزويد المنازل ببعض احتياجاتها من الطاقة الحرارية وفي محطات توليد الطاقة الكهربائية.

يمتلك الاتحاد السوفيتي وأوروبا وشمال أمريكا معظم الخث الموجود في العالم (حوالي ٩٧٪) ويملك الاتحاد السوفيتي وحده حوالي ٦١٪ من موارد العالم من الخث.

٢ ـ الفحم البني:

يقع الفحم البني في الحلقة الثانية في سلسلة تكون الفحم بعد الخث، وهو يحمل الكثير من خصائصه كاحتوائه على نسبة عالية من الماء والمواد المتطايرة، و يوجد الفحم البني في وسط أوروبا حيث يستعمل في العديد من الأغراض الصناعية وفي محطات الطاقة الكهربائية، يقدر مخزون العالم من الفحم البني بحوالي ٢ تريليون طن (تريليون يساوي مليون مليون)، يوجد حوالي ٧٠٪ منها في الاتحاد السوفيتي وحوالي ٢٠٪ في الولايات المتحدة، و يتوزع الباقي بين كندا ودول أوروبا.

٣ ـ الفحم القطراني:

يدعى الفحم القطراني بهذا الاسم لأنه ينتج مادة قطرانية عند تقطيره لانتاج الغاز وفحم الكوك، ويحتوي الفحم القطراني على ٣٠ــ٤٠٪ من المواد المتطايرة المتكونة من مواد هيدروكربونية والتي تستعمل في انتاج الغاز، كما يحتوي على نسبة قليلة من الماء، و يشكل الفحم القطراني الجزء الأكبر من احتياطي العالم من الفحم وهو أكثر الأنواع استعمالا وانتشارا، كما يبلغ مخزون العالم من الفحم القطراني حوالي ٦٧ تريليون طن، يمتلك الاتحاد السوفيتي حوالي ٦٢٪ منها بينما تمتلك الولايات المتحدة حوالي ١٧٪ وتمتلك الصين نسبة مقاربة، أما الجزء الباقي والذي يبلغ حوالي ٥٪ من المخزون فينتشر في أوروبا واستراليا واليابان والهند ومناطق أخرى.

ب ـ النفط:

اكتشف النفط قبل حوالي مائة عام، وشاع استعماله في البداية في الولايات المتحدة الأمريكية ومنها انتقلت تكنولوجية البحث عنه وانتاجه واستعماله الى مناطق أخرى، وقد توسع استعمال النفط في العالم بعد الحرب العالمية الثانية بشكل كبير وتصاعدت معدلات انتاجه واستهلاكه بحيث أصبح في مقدّمة مصادر الطاقة من حيث الانتاج والاستهلاك، وتعود

بعض أسباب انتشار النفط بهذا الشكل السريع الى الخصائص الفيزيائية التي يتمتع بها من حيث سهولة نقله وتخزينه وارتفاع كمية الطاقة المخزونة في وحدة الوزن منه وتعدد استعمالاته. فوسائل المواصلات مثلا ما كان لها أن تتوسع وتنتشر بهذا الشكل السريع لولا توفر مشتقات النفط.

وهناك عدة أنواع من النفط الخام لكنها لاتختلف عن بعضها بشكل واضح كما في حالة الفحم، وتعزى الاختلافات بين أنواع النفط الى كمية المواد الهيدروكربونية فيها والى التركيب الكيماوي العضوي لهذه المواد وأوزانها الجزيئية، وبالاضافة الى المواد الهيدروكربونية توجد كميات متفاوتة من الكبريت والنيتروجين والأوكسجين. ويعتبر وجود الكبريت من الخصائص السلبية في المشتقات النفطية بسبب ما ينتج عنه من تلوث عند حرقها اضافة الى ان وجوده يؤثر على مقدار الطاقة في وحدة الوزن من النفط، ولذلك كلما قلت نسبة المواد غير الهيدروكربونية في النفط كانت نوعيته أفضل، وتقل تبعا لذلك الخطوات المطلوبة لتصفيته وتكريره الى مشتقاته المختلفة.

واضافة الى ما تقدم يميّز بين أنواع النفط على أساس الخام الخفيف والخام الثقيل. فالخام الخفيف يحتوي على نسبة عالية من الغازولين الذي ينفصل عن النفط الخام في مراحل التكرير الأولى وبذلك يبقى جزء صغير نسبيا من المواد الثقيلة التي تحتاج الى جهد أكبر لتكريرها، وبشكل عام، فان النفط حديث التكون نسبيا يحتوي على نسبة عالية من الهيدروكربونات ذات الوزن الجزيئي الكبير وأما النفط قديم التكون فيحتوي على نسبة عالية من الهيدروكربونات الخفيفة.

وينتشر مخزون النفط في العديد من مناطق العالم ولا تخلو منه أية قارة من قارات العالم، ومع ذلك فهناك العديد من الدول التي تفتقر تماما الى مصدر الطاقة هذا وتضطر إلى استيراد احتياجاتها. وتعتبر منطقة الشرق الأوسط من أغنى مناطق العالم بالنفط اذ أنها تحتوي على أكثر من نصف

مخزون العالم منه، وفي منطقة الشرق الأوسط يتركز مخزون النفط في منطقة الخليج والجزيرة العربية، فمن ضمن مخزون عالمي للنفط يبلغ حوالي ٦٢٠ ألف مليون برميل تحوى المناطق البترولية في الشرق الأوسط حوالي ٣٥٠ ألف مليون برميل، وتتركز هذه الكمية في دول الخليج والجزيرة العربية والعراق(دون أخذ مخزون الدول العربية في شمال افريقيا بعين الاعتبار)، ويأتي الاتحاد السوفيتي في المرتبة الثانية من حيث مخزون النفط اذ أنه يمتلك حوالي ٨٠ ألف مليون برميل، أي ما يعادل حوالي ١٣٪ من المخزون العالمي، وأما الجزء المتبقي والذي يشكل حوالي ٣٠٪ من المخزون العالمي فيوجد في مناطق العالم المختلفة كالولايات المتحدة وبعض دول امريكا الجنوبية وافريقيا وشرق وجنوب شرق آسيا واستراليا.

جـ ــ الغاز الطبيعي:

يقع الغاز في المرتبة الثالثة من حيث الأهمية في استهلاك العالم من الطاقة بعد الفحم والنفط، اذ يشكل الغاز ١٨٪ من مجمل الاستهلاك العالمي، وكما في حالة النفط فليس هناك نظرية متكاملة لتفسير كيفية تكون الغاز تاريخيا، فهناك مثلا الغاز المصاحب للنفط الذي تنحو النظريات العلمية الى ربط تكونه بالعوامل التي أدت الى تكون النفط نفسه، وهناك حقول الغاز الطبيعي حيث يوجد الغاز وحده دون النفط ثم هناك نوع آخر من الغاز الذي يعتقد أنه تكون بتأثير العوامل التي أدت الى تكون الفحم، ولهذه الأسباب مجتمعة فان تقدير المخزون من الغاز أمر أكثر صعوبة من تقديره في حالة الفحم والنفط.

ويشكل الميثان الجزء الأساسي من تركيب أنواع الغاز المختلفة يليه بعد ذلك الايثان. وبالاضافة الى المركبين السالفي الذكر هناك نسب مختلفة من البروبان والبيوتان والنيتروجين وأوكسيد الكربون ومركبات كبريتية، ويؤدي اختلاف التركيب هذا الى اختلاف في قيمة الطاقة في الأنواع المختلفة من الغاز، فالغاز المستخرج من المانيا مثلا يحتوي على نصف قيمة

طاقة الغاز المستخرج من الكويت (في ذات وحدة الحجم).

ويبلغ احتياطي العالم من الغاز حوالي ٢٦٠٠ تريليون قدم مكعب يمتلك الاتحاد السوفيتي حوالي ٣٠٪ منها والولايات المتحدة حوالي ١٠٪ والدول العربية حوالي ١٥٪. أما الدول غير العربية في منظمة الأوبك فتمتلك حوالي ٢٠٪ من الاحتياطي العالمي. ويتوزع الجزء المتبقي بين العديد من دول العالم في مختلف القارات.

٢ ـ المصادر المائية

يعود تاريخ استخدام الانسان لطاقة المصادر المائية الى القرن الميلادي الأول حيث استعملت مياه الأنهار في تشغيل بعض النواعير المستخدمة لتشغيل مطاحن الدقيق، وكانت النواعير الأولى أفقية بمعنى أن حركة دورانها تحصل في مستوى أفقي، ومع القرن الرابع الميلادي كانت الناعورة العمودية قد تطورت، وانتشرت الناعورة العمودية في منطقة الشرق الأوسط في بعض مناطق نهر الفرات في سوريا والعراق، وفي عصر الثورة الصناعية انتشر استعمال النواعير في أوروبا بشكل مكثف وانتقلت منها الى الولايات المتحدة، وتوسعت أيضا استعمالات النواعير لتشمل ضخ المياه وتشغيل آلات نشر الأخشاب وآلات النسيج.

ويرتبط مفهوم مصادر الطاقة المائية في الوقت الحاضر بمحطات توليد الطاقة الكهربائية التي تقام على مساقط الأنهار، ويترافق مع اقامة هذه المحطات بناء السدود وتكوين البحيرات الاصطناعية لحجز مياه الأنهار وضمان توفر كميات كبيرة من الماء تكفل تشغيل محطات الطاقة بشكل دائم.

تعود فكرة انشاء محطات الطاقة على مساقط الأنهار الى أواخر القرن الماضي حوالي عام ١٨٧٠ حين طرحت فكرة انشاء محطة لتوليد الطاقة عند شلالات نياجارا، وقد بدأ العمل في المحطة المذكورة في عام ١٨٨٦ وتم

تشغيلها في عام ١٨٩٥، وكانت طاقتها تعادل ٣٫٧٥ ميغاواط، وفي ذات الوقت كان يجري العمل على اقامة بعض المحطات الأخرى في أوروبا.

تعتمد كمية الطاقة الكامنة في محطات التوليد المائية على حجم كمية الماء وعلى مسافة سقوط الماء، فكلما ارتفعت قيمة أي من العاملين المذكورين ارتفعت قيمة الطاقة الكامنة في المحطة، وتعمل محطات الطاقة المائية بكفاءة عالية تصل الى ٨٠ ــ ٩٠٪ بالمقارنة مع محطات توليد الطاقة الحرارية التي تستعمل الوقود الأحفوري والتي تعمل بكفاءة لا تزيد عن ٣٠٪ في العادة.

ومن الطبيعي توفر مصادر الطاقة المائية في تلك المناطق التي تتوفر فيها الخصائص الطبوغرافية الملائمة لاقامة السدود وتكوين البحيرات مع توفر ارتفاع ملائم لسقوط المياه، ولا توجد تحديدات معينة على الارتفاع الأمثل لسقوط الماء ذلك أن هناك أنواعا مختلفة من التوربينات التي تلائم مختلف ارتفاعات مساقط المياه.

تبلغ الطاقة الكامنة في مصادر الطاقة المائية في العالم حوالي ٣ ملايين ميغاواط، يوجد حوالي ربعها في أفريقيا و٢٠٪ في أمريكا الجنوبية و١٦٪ في جنوب شرق آسيا و١٦٪ في الصين والاتحاد السوفيتي ويتوزع الباقي في أمريكا الشمالية واوروبا ومناطق أخرى. ومن جانب آخر تبلغ كمية الطاقة المستغلة من هذا المصدر حوالي ١٥٠ مليون ميغاواط، أي ما يعادل حوالي (٥٪) من الطاقة الاحتمالية الكلية. ويعزي أحد أسباب هذه النسبة المنخفضة لاستغلال مصادر الطاقة المائية الى الكلفة العالية لانشاء محطات الطاقة وبخاصة أن المواقع الملائمة غالبا ما تكون بعيدة عن مراكز استهلاك الطاقة. وبالنسبة للعالم العربي فان أشهر محطات توليد الطاقة المائية هي الموجودة في منطقة السد العالي في مصر ومنطقة سد الفرات في سوريا.

٣ ـ الطاقة النووية

تعمل محطات الطاقة النووية المستعملة حاليا على ما يعرف بالانشطار النووي وهو نفس فكرة القنبلة الذرية. وتقوم فكرة استخلاص الطاقة من الانشطار النووي على أن بعض العناصر تنشطر نواتها حين يصدمها نيوترون وينتج عن الانشطار ظهور مواد جديدة واشعاعات ويتحول جزء من المادة الى طاقة حرارية اضافة الى نيوترونات أخرى تقوم بدورها بالاصطدام مع ذرات أخرى، وهكذا ينشأ عن هذه العملية تفاعل متسلسل لا ينتهي الآ بتحويل كل المادة القابلة للانشطار الى مواد جديدة واطلاق كمية كبيرة من الطاقة.

إن المادة المستعملة في عمليات الانشطار النووي هي اليورانيوم ــ ٢٣٥ والذي يوجد بكميات قليلة في الطبيعة مع عنصر اليورانيوم ــ٢٣٨، فحين يصدم نيوترون نواة عنصر اليورانيوم ــ ٢٣٥ فان نواته تنقسم الى قسمين متساويين تقريبا وينتج أيضا تحرير نيوترونين يقومان بدورهما بالاصطدام مع نوى أخرى لليورانيوم ــ ٢٣٥. ويترافق مع هذه العملية تحول جزء من مادة النواة الى كميات هائلة من الطاقة الحرارية فاذا استمر هذا التفاعل بدون ضوابط فقد يتحول التفاعل الى قنبلة نووية ذرية، وأما إذا تم ضبط التفاعل بحيث يحصل بمعدلات معينة وجرى في ذات الوقت نقل حرارة التفاعل باستعمال السوائل والغازات المبردة فان بالامكان استعمال المفاعل للأغراض السلمية (٢).

---

٢ ــ Foley, G., The Energy Question, Penguin Books, London, England 1978, PP. 163-93

ويتم ضبط التفاعل في المفاعلات النووية باستعمال المهدئات Moderators التي تقوم بالحد من سرعة النيوترونات الناتجة من التفاعل النووي أو امتصاص جزء منها، ولتحقيق ذلك تستعمل قضبان من الجرافيت أو الماء، أما الحرارة الناتجة عن التفاعل فيجري نقلها بواسطة السوائل والغازات المبردة وذلك لمنع استمرار درجة حرارة قلب المفاعل من الارتفاع الى درجة قد تؤدي الى انصهاره، وتستعمل الحرارة الناتجة عن التفاعل في انتاج البخار ذي الضغط العالي والحرارة المرتفعة، ومن ثم تشغيل التوربينات وانتاج الطاقة الكهربائية، وعلى ذلك فان المفاعل النووي ليس الا مصدرا للطاقة ينتج الحرارة المطلوبة لانتاج البخار، أي أنه يقوم بوظيفة الغلاية التي تعمل على الفحم أو النفط أو الغاز في محطات التوليد الحرارية.

ومن النتائج السلبية المترتبة على المفاعلات النووية الانشطارية انتاج المواد المشعة ذات القدرة العالية على اختراق المعادن والجدران السميكة الأمر الذي يؤدي الى خطر تسربها الى الخارج وتأثيرها على الكائنات الحية من نبات وحيوان. أما الأمر الآخر فهو أن الوقود النووي المستعمل في المحطات النووية يتكون من عنصري اليورانيوم ــ ٢٣٥ واليورانيوم ــ ٢٣٨ ورغم أن الأول هو الذي ينشطر ويتحرر اثنان من نيوتروناته فان الأخير يقوم بامتصاص أحدهما ويتحول الى بلوتونيوم الذي هو بدوره مادة مشعة، هذا بالاضافة الى ما يتكون من مواد مشعة أخرى نتيجة التفاعل النووي، ومشكلة هذه المواد أنها نفايات التفاعل النووي ولابد من التخلص منها الآ أن خصائصها الاشعاعية المدمرة تجعل من الضروري حفظها في أماكن خاصة وتحت رقابة دائمة بحيث لا تفلت اشعاعاتها الى الخارج، وحتى الان كانت أكثر الطرق المستعملة لحفظ النفايات خزنها في خزانات مائية، وقد جرى التفكير بوضعها في صناديق محكمة ووضعها في أعماق المحيطات العميقة كما جرى التفكير بدفنها في الأرض على أعماق كبيرة الآ أن كلا

الفكرتين وجدت معارضة كبيرة من جانب العلماء، والآن يجري التفكير بقذف النفايات النووية في الفضاء بعيدا عن الأرض بحيث تتخذ مدارا حول الشمس.

كان عدد المفاعلات النووية العاملة في العالم حتى نهاية عام ١٩٧٦ يبلغ ١٧٧ مفاعلا وتصل طاقتها الى ٨٦ الف ميغاواط، وفي نفس السنة كان يجري العمل في ١٥١ مفاعلا آخر تبلغ طاقتها ١٢٨ الف ميغاواط. وتمتلك الولايات المتحدة أكبر عدد من المفاعلات النووية العاملة او التي تحت الانجاز اذ كان يبلغ عددها مجتمعة ١٢٠ مفاعلا في نهاية عام ١٩٧٦، وفي المرتبة الثانية تأتي بريطانيا بعدد من المفاعلات يبلغ ٣٩ مفاعلا، و٢٥ مفاعلا في فرنسا و٢١ في اليابان بينما لم يملك الاتحاد السوفيتي في ذلك الوقت سوى ١٨ مفاعلا فقط، أما باقي المفاعلات النووية فتنتشر بشكل أساسي في دول أوروبا الغربية والشرقية وكندا والهند (٣).

ويقدر استهلاك العالم الحالي من اليورانيوم خارج الاتحاد السوفيتي والدول الحليفة له بحوالي ٢١ الف طن، أما احتياطي العالم من اليورانيوم فان تقدير ذلك يعتمد على الكلفة الاقتصادية المقبولة كسعر اذ كلما ارتفع السعر المقبول ازدادت كمية الاحتياطي.

والقاسم المشترك بين مصادر الطاقة الاحفورية والنووية أنها قابلة للاستنزاف ذلك أن الموجود منها في الطبيعة كميات محدودة ستستهلك عاجلا أو آجلا، ويتحدد زمن استنزاف هذه المصادر بمعدلات استهلاك العالم منها، تلك المعدلات التي تشير الى أن العالم مقبل على استنزاف معظم ما يملك في المستقبل المنظور، ولا يتوقف الأمر عند هذا بل أن كلفة انتاج المخزون من هذه المصادر ستتصاعد بدرجة كبيرة نتيجة للجهد الكبير

٣ — **النفط ومصادر الطاقة البديلة**، منظمة الأقطار العربية المصدرة للنفط (الأوابك) الكويت، ابريل ١٩٧٧، ص ١٠١ — ١٠٢.

والاستثمارات الضخمة المطلوبة لانتاجها، وسنتطرق الآن الى وضع استهلاك الطاقة على المستوى العالمي لنأخذ فكرة عن الكميات المستهلكة وأهم مراكز الاستهلاك، وسيشكل هذا مقدمة للنظر في مخزون الطاقة في العالم لكي نصل الى تقدير الفترة الزمنية التي يترتب على الانسان خلالها البحث عن المصادر البديلة وتطويرها.

الاستهلاك الحالي والمستقبلي للطاقة(٤):

يستهلك العالم الطاقة التي يحتاجها من المصادر الثلاثة الأساسية التي تحدثنا عنها سابقا وهي مصادر الطاقة الاحفورية (فحم، نفط، غاز) اضافة الى الطاقة الكهربائية والطاقة النووية. وتبلغ مساهمة الطاقة الأحفورية في مجمل الاستهلاك العالمي حوالي ٩٢٪ بينما لا تتجاوز مساهمة المصدرين الآخرين ٨٪، في الجدول رقم (١) نقدم صورة عن تطور استهلاك الطاقة عالميا حسب مصادر الطاقة سالفة الذكر. ونقدم الصورة في الجدول رقم(١) بالأرقام المطلقة والنسب المئوية.

إن الأرقام الواردة في الجدول رقم(١) تشير الى أن استهلاك الطاقة في العالم قد ارتفع بمقدار ٥٠٪ خلال عشر سنوات في الفترة ما بين ١٩٦٥ ــ ١٩٧٥، فقد ارتفع بما يعادل ٨٢ مليون برميل يوميا الى ما يعادل ١٢٣ مليون برميل، وتشير الأرقام في الجدول المذكور الى أن النفط والغاز كانا المصدرين الأساسيين في تلبية الزيادة على الطلب بينما لم تشهد المصادر الأخرى سوى زيادة طفيفة، والواضح من الجدول أيضا أن مساهمة الطاقة النووية مازالت قليلة جدا وأن زيادة مساهمتها بشكل ملموس يتطلب بناء مئات المفاعلات النووية الجديدة.

---

٤ ــ النفط ومصادر الطاقة البديلة، الأوابك، ص٥٧، ٥٩، ٧٠.

جدول رقم ـ ١

تطور استهلاك الطاقة عالميا

حسب مصدر الطاقة للسنوات

١٩٦٥ ـ ١٩٧٥

(مايعادل ملايين براميل النفط يوميا *)

مصدر الطاقة	١٩٦٥		١٩٧٥	
	الكمية	النسبة المئوية	الكمية	النسبة المئوية
النفط	٣٠٫٦	٣٧٫٣	٥٤	٤٣٫٩
الغاز	١٢٫٩	١٥٫٨	٢٢٫٢	١٨
الفحم	٣٣٫٩	٤١٫٣	٣٧٫٨	٣٠٫٧
الكهرومائية	٤٫٥	٥٫٤	٧٫٢	٥٫٩
النووية	٠٫١٣	٠٫٢	١٫٨	١٫٥
المجموع	٨٢	١٠٠	١٢٣	١٠٠

* الأرقام مدورة الى أقرب كسر عشري

إن هذه الزيادة الكبيرة في استهلاك العالم من الطاقة-وبالتحديد مصادر الطاقة الأحفورية-هي ما يشكل الخطر الأكيد على الاحتياطي المتبقي منها وذلك لانه يهدد بسرعة نضوبه، وتتفاقم صورة وضع الطاقة العالمي حين نأخذ بعين الاعتبار أن هذه المصادر القابلة للاستنزاف تغطي أكثر من ٩٠٪ من احتياجات البشر الحالية من الطاقة. وعلى ذلك فان أي تحول باتجاه الاعتماد على مصادر بديلة سيأخذ وقتا طويلا لاعادة تشكيل

أنماط الحياة الحالية باتجاه تقليل الاعتماد على المصادر الأحفورية وزيادة الاعتماد في ذات الوقت على البدائل.

اذا كان **الجدول رقم (١)** يقدم الصورة العامة لاستهلاك الطاقة العالمي فكيف تبدو الصورة التفصيلية لذلك؟ أي كيف يتوزع استهلاك الطاقة في العالم؟ لنأخذ ذات الفترة السابقة ولننظر الى مناطق استهلاك الطاقة في العالم.

جدول رقم ــ ٢

تطور استهلاك الطاقة عالميا حسب مناطق الاستهلاك

في الفترة ١٩٦٥ــ١٩٧٥

(الكميات بما يعادل ملايين البراميل يوميا من النفط*)

المنطقة	١٩٦٥		١٩٧٥	
	الكمية	النسبة المئوية	الكمية	النسبة المئوية
الدول الغربية الصناعية بما فيها اليابان	٤٩ر٢	٦٠	٦٩ر٤	٥٦ر٤
الدول الاشتراكية	٢٣	٢٨	٣٦ر٣	٢٩ر٥
بقية دول العالم	٩ر٩	١٢	١٧ر٣	١٤ر١
المجموع	٨٢	١٠٠	١٢٣	١٠٠

* الأرقام مدورة الى أقرب كسر عشري

يتضح من الأرقام الواردة في الجدول السابق أن الدول الصناعية الغربية واليابان تستهلك أكثر من نصف الطاقة في العالم، وحتى لو استثنينا اليابان فان دول أمريكا الشمالية وأوروبا الغربية تستمر في استهلاك حوالي نصف الطاقة في العالم. أما الدول الاشتراكية فانها تستهلك حوالي ٣٠٪ من الطاقة في العالم ويتوزع الباقي على بقية دول العالم.

لا نشك في أنّ الدول الصناعية تستهلك كميات كبيرة من الطاقة بسبب حاجة صناعتها لذلك ونتيجة لمستوى المعيشة المرتفع فيها، الا أننا لو أمعنا النظر في تفاصيل الصورة لوجدنا مثلا أن الولايات المتحدة الأمريكية التي يبلغ عدد سكانها حوالي ٢٥٠ مليون نسمة كانت تستهلك يومياً ما يعادل ٣٨ مليون برميل من النفط عام ١٩٧٥ بينما كانت اليابان بسكانها البالغين حوالي ١١٠ مليون تستهلك حوالي ٧ ملايين برميل من النفط يومياً، وبعملية حسابية بسيطة نجد أن الفرد الأمريكي يستهلك في المعدل مرتين ونصفاً مما يستهلك الفرد الياباني. ولا يمكننا القول بأن هناك فروقاً واضحة في مستوى المعيشة في كلتا الدولتين ولا في مستوى التطور الصناعي، الا أن الأرقام المذكورة تعكس أحد الجوانب المهمة في مسألة الطاقة وهي كيفية التعامل معها بمعنى كفاءة استخدامها ومجالات استهلاكها. ونكتشف نفس المسألة فيما لو قمنا بالمقارنة بين الولايات المتحدة من جانب ودول أوروبا الغربية من الجانب الآخر حيث يتبين أن معدل استهلاك الفرد الأمريكي من الطاقة أعلى بكثير من نظيره الأوروبي.

على ذلك، فان أحد جوانب أزمة الطاقة المعاصرة هو في الواقع أزمة التعامل معها وكيفية استهلاكها لتلبية الحاجات المطلوبة، ولا تدع الأرقام السابقة مجالا للشك في أن بالامكان التعامل مع مصادر الطاقة بشكل عقلاني من خلال اتباع سياسات الحفاظ على الطاقة واتباع الأساليب

العلمية الفعالة في رفع كفاءة استخدامها . واذا كان رفع أسعار الطاقة سيخلق مثل هذه الحوافز ويؤدي الى زيادة كفاءة الاستفادة من مصادر الطاقة الحالية فان هذه خطوة في الاتجاه الصحيح نحو اتباع استراتيجيات علمية في معالجة مسألة الطاقة .

الآن ، كيف تبدو صورة الطلب على الطاقة على الصعيد العالمي حتى نهاية القرن الحالي ؟ نود أن نشير الى أن ما سنورده من احصاءات ليست الاّ مجرد توقعات لكنها مبنية على العديد من الملاحظات المتعلقة باستهلاك الطاقة في السنوات الماضية وتوقعات النمو الاقتصادي وزيادة عدد السكان وارتفاع الدخول القومية وحتى اتباع سياسات علمية في الحفاظ على الطاقة .

ونقدم في **الجدول رقم (٣)** قائمة بتوقعات الطلب العالمي على الطاقة لعامي ١٩٨٥ و٢٠٠٠ ، والتقديرات الواردة في الجدول المذكور بالنسبة لعام ١٩٨٥ هي تقديرات منظمة التعاون والتطوير الاقتصادي التي تضم الدول الغربية الصناعية وبعض حلفائها ، أما التوقعات لعام ٢٠٠٠ فهي لشركة كالتكس Caltex .

جدول رقم ــ ٣

تقديرات الطلب العالمي على الطاقة لعامي

١٩٨٥ ــ ٢٠٠٠

(الكميات بما يعادل ملايين البراميل يومياً من النفط)

	١٩٨٥		٢٠٠٠	
مصدر الطاقة	الكمية	النسبة المئوية	الكمية	النسبة المئوية
فحم	٥١,٤	٢٦,٧	٨١	٢٦,٨
نفط	٨٥,٣	٤٤,٤	١٢٥,٧	٤١,٦
غاز	٣٣,٦	١٧,٥	٤٩	١٦,٢
النووية	١٢,٤	٦,٥	٢٩,٥	٩,٧
الكهرومائية وغيرها	٩,٤	٤,٩	١٧,٣	٥,٧
المجموع	١٩٢,١	١٠٠	٣٠٢	١٠٠

إن الواضح من الاحصاءات الواردة في **الجدول رقم (٣)** أنه من المتوقع أن يستمر استهلاك الطاقة في العالم حتى نهاية القرن الحالي بنفس المعدلات المرتفعة التي شهدتها الفترة ١٩٦٥ — ١٩٧٥، ففي الفترة المذكورة ازداد استهلاك الطاقة بمقدار ٥٠٪، وبمقارنة كمية الاستهلاك المتوقعة عام ١٩٨٥ بكمية الاستهلاك الفعلي عام ١٩٧٥ يتضح أن الزيادة المتوقعة في الاستهلاك تصل الى ٥٦٪، وبمقارنة كمية الاستهلاك المتوقعة لعام ٢٠٠٠ بتلك المتوقعة لعام ١٩٨٥ يتضح أيضاً أن الزيادة ستصل الى ٥٧٪، ويتضح من الاحصاءات المذكورة أن الاعتماد على مصادر الطاقة الاحفورية سيستمر بنفس الحدة التي يشهدها العالم حاليا وأن التغير الأساسي في هيكل مصادر الطاقة يكمن في زيادة مساهمة الطاقة النووية حيث من المتوقع أن تصل نسبة مساهمتها في تلبية الاحتياجات العالمية من الطاقة في نهاية القرن الحالي الى حوالي ١٠٪ من مجمل الطلب العام.

الواقع أنه اذا ثبتت صحة التوقعات الواردة في **الجدول رقم (٣)** فان

ذلك سيعني أن العالم لن يكون قد استفاد من دروس أزمة الطاقة، وأن هذه الأزمة ستكون قد استفحلت حينذاك الى درجة تهدد بنشوب الكثير من النزاعات والصراعات لضمان توفير هذه الكميات الكبيرة من الطاقة، وتدل القراءة التفصيلية لتلك الاحصاءات على أن الدول الغربية الصناعية ستستمر في استهلاك أكثر من نصف مجمل الاستهلاك العالمي وأن الدول الاشتراكية ستستمر في استهلاك الثلث تقريبا.

على أن السؤال الذي يتبادر الى الذهن هو: كم من الوقت ستظل مصادر الطاقة الأحفورية تصحبنا قبل أن تنضب وبخاصة اذا أخذنا بعين الاعتبار استمرار معدلات الاستهلاك في الازدياد؟ هذا ما سنحاول الاجابة عليه في الصفحات اللاحقة.

المخزون التقديري من الطاقة (٥، ٦):

للاجابة على السؤال الذي طرحناه قبل قليل نقول: إن أحداً لا يعرف بالضبط متى ستنضب مصادر الطاقة الأحفورية، والسبب في ذلك أن احدا لا يستطيع اعطاء جواب نهائي ليس عن كمية المخزون من هذه المصادر فحسب بل عن مقدار مايمكن استخراجه منها ايضا. فمعرفة الكمية الموجودة أمر مختلف تماما عن معرفة الكمية التي يمكن استغلالها واستخراجها واستعمالها.

وتتحدد الكمية الممكن استخراجها من أحد المصادر بمجموعة من العوامل أهمها الكلفة الاقتصادية والمستوى التكنولوجي السائد، وبالطبع هناك مسألة

٥ ـ Kenward, M., **Potential Energy**, Cambridge University Press, London U.K., 1976, PP. 15-23.

٦ ـ Ion, D.C **Availability of World Energy Resources**, Graham & Tratman ltd, London, U.K., 1975, PP. 29-50

أكثر أهمية من كلا العاملين السالفي الذكر وهي أنه لا يمكن التفكير باستغلال مصدر اذا كانت كمية الطاقة المطلوبة لاستغلاله تزيد عن كمية الطاقة الممكن استخراجها من باطنه، فلو نظرنا الى تاريخ استخراج النفط لوجدنا أنه ابتدأ في تلك المناطق التي تتمتع بخصائص سهولة الوصول الى منابعه وقلة الاستثمارات المطلوبة لاستخراجه وانه مع التقدم التكنولوجي أصبح يجري استغلال مناطق جديدة، فمثلا لم يكن ممكنا التفكير باستغلال نفط بحر الشمال أو نفط إلاسكا في بداية القرن الحالي ذلك أن المستوى التكنولوجي السائد آنذاك وكلفة الانتاج لم تكن تجعل من مثل ذلك أمرا ممكنا، أما في الوقت الحاضر فانه يجري استغلال النفط في كلتا المنطقتين.

يتضح مما تقدم أن تقدير المخزون العالمي من مصادر الطاقة وتقدير الاحتياطي الممكن استغلاله مسألة نسبية مرتبطة بمستوى المعرفة البشرية في تقدير المخزون وبمستوى التطور التكنولوجي لاستغلال جزء من ذلك المخزون بكلفة اقتصادية مقبولة، لذلك ففي الاحصاءات التي سنوردها فيما يلي سنشير الى تقديرات الاحتياطي المؤكد لتمييزها عن تقديرات المخزون العالمي، والمقصود بالمخزون العالمي هو مجمل الكمية الموجودة في باطن الأرض من أحد مصادر الطاقة بغض النظر عن امكانية استغلالها، أما الاحتياطي المؤكد فهو الكمية الممكن استخراجها من أحد المصادر اعتمادا على المستوى التكنولوجي السائد وبالكلفة الاقتصادية المقبولة حاليا، واذا ما تغير أحد العاملين المذكورين فان كمية الاحتياطي المؤكد تتغير صعودا أو هبوطا.

وهناك العديد من التقديرات حول مخزون مصادر الطاقة والاحتياطي المؤكد، فمنها ما يصدر عن هيئات ومؤسسات حكومية، أو عن هيئات دولية أو عن دراسات لذوي الاختصاص، الاّ أننا سنورد هنا الاحصاءات الصادرة عن مؤتمر الطاقة الدولي الذي نظمته الأمم المتحدة عام ١٩٧٤.

جدول رقم ـــ ٤
الاحتياطي المؤكد من الطاقة الاحفورية
ومعدلات انتاجها وعمرها التقريبي

(أرقام الاحتياطي ومعدل الانتاج
بما يعادل آلاف ملايين الأطنان من النفط)

مصدر الطاقة	الاحتياطي المؤكد	معدل الانتاج	العمر التقريبي (سنوات)
النفط	٩١ر٥	٢ر٥	٣٧
الغاز	٥١ر٥	١ر٣٦	٣٨
الفحم	٤٠٠	٢ر٠٨	١٩٢
المجموع	**٥٤٣**	**٥ر٩٤**	**٩٢**

ملاحظة: تم تحويل الاحصاءات الى المعادل بأطنان النفط على أساس أن كل طن من النفط يعادل ١ر٤٨ طن من الفحم ويعادل ١٠٢٠ مترا مكعبا من الغاز

ان الاحصاءات الواردة في **الجدول رقم(٤)** لا تبشر بالخير ذلك أنها تتحدث عن عمر تقريبي للنفط والغاز لا يتجاوز الأربعين عاما وعن عمر للفحم لا يتجاوز القرنين، وحتى لو أخذنا مجموع الاحتياطي المؤكد ومعدل الانتاج العام فان الاحصاءات تتكلم عن عمر لمصادر الطاقة الاحفورية لا يتجاوز قرنا واحدا من الزمان، ونعترف ان الاحصاءات الخاصة بالعمر التقريبي مبنية كما هو واضح على أساس معدل انتاج تجاوزه العالم،ذلك أن الاحصاءات تتحدث عن معدلات عام ١٩٧٤،بينما نعيش في الثمانينات دون توفر ما يكفي من الدلائل على أن استهلاك العالم من الطاقة سيتوقف عن الازدياد.

ولو قمنا بتحويل الاحصاءات الواردة في **الجدول رقم (٣)** حول الاستهلاك المتوقع من مصادر الطاقة الاحفورية في عام ٢٠٠٠ لوجدنا أنها تعادل ١٢٫٧ الف مليون طن من النفط، ولو فرضنا أن هذا الرقم يشكل المعدل الوسطي لاستهلاك الطاقة في العالم حتى وقت نضوب الاحتياطي المؤكد فان ذلك يعني أن مصادر الطاقة الأحفورية لن تصحبنا لأكثر من ٤٣ عاما، حقا إنها فترة زمانية قصيرة وقد يشهد الكثيرون منا نهايتها.

اذن ما المخرج من أزمة الطاقة المحيقة بالعالم ؟.

هناك مخرج واحد وهو البحث عن مصادر بديلة، ذلك أنه لا يمكن التفكير بعالم مثل عالمنا دون توفر مصادر طاقة تروي ظمأه وتسيّر مختلف أجزائه، لكن ماهي البدائل المتاحة ؟

المصادر المستقبلية والبديلة:

في الحديث عن مصادر الطاقة البديلة يجدر بنا التمييز بين نوعين من هذه المصادر وبين استراتيجيتين مختلفتين للطاقة مستقبلا، فبالنسبة للمصادر نميز بين المصادر ذات الطابع المؤقت بمعنى أن ما يتوفر من مخزون في هذه المصادر محدود ولا يمكن التعويض عن المستنزف والمستهلك منه. ورغم أهمية هذه المصادر ومساهمتها العالية في تلبية الاحتياجات البشرية من الطاقة الاّ أن محدوديتها تقتضي التفكير بحلول للبحث عن مصادر تتمتع بطابع التجدد والديمومة، وحين نتحدث عن المصادر الدائمة والمتجددة فيجدر بنا التمييز بين المصادر التي تتطلب مستوى تكنولوجيا رفيعا لا يملكه العالم حتى وقتنا هذا وبين المصادر التي تحتاج الى مستوى تكنولوجي في متناول الغالبية من دول العالم، والتفريق بين هذين المصدرين الأخيرين هو في الواقع اختيار بين استراتيجيتين مختلفتين تقوم احداهما على استمرارية تدعيم وضع المركزية المختارة في موضوع الطاقة بحيث تقتصر مصادر تزويد الطاقة على منشآت قليلة ذات مستوى تكنولوجي رفيع جدا لايدركه ولا يستطيع

التفاعل معه سوى قلة قليلة من العلماء والمتخصصين وبين استراتيجية تقوم على اللامركزية لمصادر تزويد الطاقة وعلى مستوى تكنولوجي في متناول الغالبية.

وحين نتحدث عن المصادر المستقبلية والبديلة فاننا نأخذ بعين الاعتبار أن المصادر المحدودة الأجل يمكن أن تكون مصادر مستقبلية لكنها ليست بديلة الاّ لفترة قصيرة، أما المصادر التي يمكن أن تكون بديلة فعلا فهي المصادر الدائمة والمتجددة. ضمن هذا التقسيم يمكننا الاشارة الى المصادر المستقبلية التالية:ـــ

١ ــ الطاقة النووية القائمة على أساس المفاعلات النووية التي تعمل بطريقة الانشطار النووي السالف الذكر:

ويعتمد مصدر الطاقة هذا على توفر عنصر اليورانيوم في الطبيعة والذي يوجد بكميات محدودة، وتتحدد كمية اليورانيوم الممكن استغلالها في الطبيعة بعامل الكلفة الاقتصادية بشكل أساسي، وقد اعتبر سعر الكلفة المساوي ٢٦ دولاراً للكيلوغرام الواحد في عام ١٩٧٤ كأساس لتقييم احتياطي اليورانيوم في العالم، وأخيرا فان احصاءات مؤتمر الطاقة الدولي في عام ١٩٧٤ تقدر احتياطي اليورانيوم في العالم بحوالي مليون طن، ومن المؤكد أن رفع قيمة سعر التكلفة المقبول سيزيد من كمية الاحتياطي المؤكد حيث إن هذه الكمية ستتضاعف بمقدار أربع مرات فيما لو ارتفع سعر الكلفة الى ٣٩ دولاراً للكيلوغرام الواحد (٧).

ويبلغ استهلاك العالم من اليورانيوم خارج مجموعة الدول الاشتراكية حوالي عشرين الف طن مما يعني أن الاحتياطي القائم على أساس ٢٦ دولاراً للكيلوغرام يكفي العالم، حسب معدلات الاستهلاك السائدة، لمدة خمسين عاما يمكن أن تصل الى مائتي عام اذا حسبت الكلفة على أساس

---

٧ ــ Foley, G., Op. Cit. P, 189

٣٩ دولاراً للكيلوغرام، لكننا لاحظنا من الاحصاءات في الجدولين (١) و(٣) أن مساهمة الطاقة النووية في مجمل الاستهلاك العالمي قليلة جدا بالمقارنة مع مصادر الطاقة الأحفورية الأمر الذي يعني بأن الطاقة النووية الانشطارية ليست في الواقع حلا طويل الأمد لأزمة الطاقة.

٢ ـ النفط المستخرج من رمال القار وحجر السجيل (٨):

تحتوي رمال القار وأحجار السجيل على كميات من النفط لكنها تحتاج الى عمليات صناعية لاستخراجها بمعنى أن النفط لا يوجد في هذه المصادر بشكل مخزون جاهز. وللآن لم يجر القيام بمسح شامل يمكّن من اعطاء صورة عن المخزون العالمي أو الاحتياطي المؤكد، كما أن تكنولوجيا استغلال هذه المصادر مازالت في مرحلة تجريبية حيث لا يوجد الاّ القليل من مصانع استخراج النفط منها.

وتتفاوت التقديرات العالمية حول احتياطي هذه المصادر كالعادة لأن ذلك يعتمد على عوامل الكلفة الاقتصادية والمستوى التكنولوجي المطلوب. ففي عام ١٩٧٤ كان احتياطي النفط في رمال القار يتراوح مابين ٢٦ ـ ٦٠٠ مليار (ألف مليون) برميل، أما احتياطي النفط في حجر السجيل فيتراوح مابين ٥٠ ـ ٦٠٠ مليار برميل، وتشير الدراسات الأولية الى أن معظم الاحتياطي من هذه المصادر موجود في الأمريكتين.

واذا أخذنا رقماً وسطياً واعتبرنا أن الاحتياطي من النفط في رمال القار وحجر السجيل يبلغ حوالى ٧٠٠ مليار برميل فان ذلك يعني حوالي ١٠٠ مليار طن. وقد رأينا في الجدول رقم (٤) أن استهلاك العالم من مصادر الطاقة الأحفورية عام ٢٠٠٠ سيصل الى حوالي ١٢٫٧ مليار

٨ ـ **تقرير عن أزمة الطاقة وتطوير بدائل النفط**، منظمة الأقطار العربية المصدرة للنفط (الأوابك)، الكويت، مايو ١٩٧٤، ص ٢١ ـ ٢٨.

طن، وبذلك فان هذا الاحتياطي الفرضي لن يكفي العالم لأكثر من عشر سنوات.

على هذا يبدو أن طريق مصادر الطاقة الأحفورية والطاقة النووية الانشطارية مسدود وأن نهاية الطريق تبدو واضحة للعيان وقد يصلها بعضنا في حياته، من هنا تبرز الحاجة الفعلية والملحّة لتطوير المصادر البديلة الدائمة.

ان الحل البديل هو الشمس سواء كانت ذلك النجم الموجود على بعد ٩٣ مليون ميل عن كوكبنا أو الشمس الصغيرة التي سيصنعها الانسان على الأرض، تلك التي وصفناها بأنها «الجهنم» المطلوبة لاستمرار «النعيم» الأرضي، ولتوضيح المسألة نقول: إن الحل المطروح أمام البشر هو إما استغلال طاقة الشمس كما تتجسد بالاشعاع الواصل الى الأرض وبحركة الرياح وتكون أمواج البحر ومخزون الحرارة في البحار والمحيطات والتمثيل الضوئي، أو أن يلجأ الانسان الى تطوير طاقة الاندماج النووي التي تعني محاكاة التفاعلات التي تحصل داخل الشمس على كوكبنا الأرض. واذا ما نجح الانسان في أي من الطريقين فانه سيضمن مصدراً أبدياً من الطاقة. ولكن اذا كان بالامكان الحديث بنوع من التفاؤل عن استمرارية الحياة على سطح الأرض اذا ما استغل الانسان مصدر الشمس الطبيعية فان مثل ذلك التفاؤل يخبو حين نتحدث عن صنع «الشمس» الأرضية. لكن ما هي طاقة الاندماج النووي ؟

طاقة الاندماج النووي هي الطاقة الناتجة عن اندماج نواتي عنصر أو عنصرين لتكوين عنصر جديد، والتفسير الأكثر قبولاً لدى العلماء عن مصدر الطاقة الشمسية هو أن انوية الهيدروجين تندمج لتشكل الهيليوم وينتج نتيجة التفاعل طاقة هائلة، والاندماج النووي هو في الواقع ما يحصل في القنبلة الهيدروجينية، لذلك فان بناء المفاعلات النووية الاندماجية هو بناء قنابل هيدروجينية يتم التحكم في تفاعلها كي لا تفلت زمام الأمور وتحصل

كارثة، وحتى الآن مازالت التجارب على التفاعل الاندماجي تحصل في المختبرات ولا يتوفر تصور نهائي لتفاصيل المفاعلات النووية الاندماجية التي قد تبنى اذا نجحت التجارب المختبرية، وبالاضافة الى ذلك فلا يستطيع أحد اعطاء اجابة شافية عن: متى سيجري بناء المفاعلات الاندماجية ؟ وانما يكتفى بالقول إنها قد تستعمل مع نهاية القرن الحالي.

فاذا نجحت تجارب الاندماج النووي وتم بناء المفاعلات الاندماجية فان الانسان سيحظى بمصدر للطاقة سيدوم ــ نظرياً ــ مئات ملايين السنين ذلك أن العناصر المطلوبة للتفاعل الاندماجي إما أنها موجودة في الطبيعة كالديتيرتيوم أو يمكن تكوينها كالتريتيوم، وقد كانت حتى الآن معظم التجارب على طاقة الاندماج النووي تجري في الاتحاد السوفيتي والولايات المتحدة الأمريكية ذلك أن النفقات المطلوبة على البحث والتطوير والمستوى التكنولوجي المطلوب لذلك يفوق قدرة الكثير من الدول الصناعية.

إن التكنولوجيا المطلوبة لطاقة الاندماج النووي ليست في متناول معظم دول العالم والأغلب أنها لن تكون في المستقبل المنظور، ويقودنا هذا الى القول بأن الحديث عن الطاقة على مستوى عالمي يترك المجال للعديد من الأسئلة المهمة ذلك أن عالمنا ليس متجانساً ولا تحكمه نفس المصالح والاعتبارات، وعليه فان الاعتماد على الآخرين لتقديم الحل السحري لا يجدي نفعاً بل إن الواجب يقتضي أن تسعى كل أمة الى البحث عن مصادرها الخاصة من الطاقة ضمن امكاناتها التكنولوجية المتاحة والمستقبلة وضمن ما يتوفر لديها من مصادر دائمة، وفي هذا المجال تبرز المصادر الطبيعية المرتبطة بالشمس باعتبارها الحل الأكثر احتمالاً والأسهل تكنولوجياً والمتوفر لدى الجميع بشكل أو بآخر، وعن هذه المصادر الطبيعية الدائمة تتحدث معظم الفصول اللاحقة في هذا الكتاب.

ونود الاشارة هنا الى أنه بالاضافة الى الحديث عن مصادر الطاقة

المتجددة والمرتبطة بالشمس فاننا سنتطرق الى طاقة الحرارة الجوفية التي لا تعتبر متجددة ولا علاقة مباشرة لها بالشمس، وكذلك سنتطرق الى طاقة المد والجزر التي لا علاقة لها بما يحصل داخل الشمس وان كانت جاذبية الشمس تلعب دوراً في تكوينها. واضافة الى المصدرين المذكورين فاننا سنتناول المصادر التالية المرتبطة بالشمس:

١ ــ الطاقة الشمسية ونقصد بها طاقة الاشعاع الشمسي الواصل الى الأرض.

٢ ــ الطاقة الهوائية.

٣ ــ الطاقة الحرارية في البحار والمحيطات.

٤ ــ الطاقة الناتجة عن التمثيل الضوئي.

الفصل الثاني

الطاقة الهوائية

ان استعمال الانسان للطاقة الهوائية ليس بالأمر الجديد، فقد فرضت الظروف الماضية التي عاش الانسان في ظلها ضرورة أن يلجأ الى استخدام مصادر الطاقة المتوفرة في الطبيعة واخضاعها لتلبية بعض احتياجاته ضمن ظروف ومستويات التكنولوجيا السائدة في مختلف العصور، ولقد كان الهواء أحد المصادر التي فكر الانسان بها واستعملها في حياته كمصدر من مصادر الطاقة.

لو عدنا آلاف السنين الى الخلف لوجدنا أن الانسان استعمل الطاقة المتوفرة في حركة الهواء والرياح لدفع سفنه في البحار والأنهار، وليس أدل على ذلك من أن المصريين القدماء برعوا في هذا المجال منذ آلاف السنين حين كانت سفنهم تجوب النيل على امتداد الممالك الفرعونية التي قامت على ضفتيه، ومازال هذا التراث العلمي قائماً الى يومنا هذا حيث مازالت السفن الشراعية قيد الاستعمال في أكثر من بلد، واستمر الانسان في تطوير السفن الشراعية واستخدام الطاقة الهوائية بشكل متزايد وفوق مساحات واسعة من عالمنا حتى منتصف القرن التاسع عشر حين تم اختراع الآلة البخارية التي أخذت تحل بالتدريج محل الأشرعة لدفع السفن في أعالي البحار، وغني عن القول أن الانسان وفي الفترة الممتدة حتى منتصف القرن التاسع عشر جاب أطراف العالم واكتشف المجهول منها وزاد من حجم تجارته وكان في ذلك يعتمد على السفن الشراعية بدرجة كبيرة.

وبالاضافة الى ذلك فان استعمال الانسان للطاقة الهوائية لم يتوقف عند حدود استعمالها في تسيير السفن الشراعية في الأنهار والبحار، بل أخذ الانسان يفكر في اختراع وتطوير آلات وأدوات أخرى يمكنها أن تخدمه في حياته وتعمل بواسطة الهواء. وربما كان أفضل أمثلة استعمال الانسان للطاقة الهوائية هو اختراع الطواحين الهوائية وتطويرها، وبرغم أن اختراع الطواحين الهوائية جاء متأخراً من وجهة نظر زمانية بالنسبة لاستعمال السفن الشراعية إلا أن هذه الطواحين شهدت تطوراً سريعاً وانتقل استعمالها عبر القارات والمحيطات لتشمل أجزاء كثيرة من العالم.

ومن المحتمل أن تكون الطواحين قد ظهرت أول ما ظهرت في بلاد فارس (١). فقد وجد علماء الآثار أثناء حفرياتهم وتنقيبهم في فارس دلائل على وجود مضخات مياه كانت تعمل بالطاقة الهوائية وذلك لأغراض الري، ويعود تاريخ هذه الطواحين الهوائية الى القرن الخامس الميلادي، وقد استعمل الفرس في تصاميمهم القديمة اشرعة من القماش ذات محاور عمودية، أما الطواحين الهوائية التي كانت تستعمل في مطاحن الدقيق في أوروبا والتي كان لأشرعتها محاور أفقية فقد تم تطويرها مع بداية القرن الرابع عشر في عدة أجزاء من أوروبا، وقد ارتبطت صورة الطاحونة الهوائية بهولندة، البلد الذي انتشرت فيه هذه الطواحين واستعملت في أغراض عديدة بما فيها نزح كميات كبيرة من المياه من الأماكن الواطئة القريبة من البحار وذلك لأغراض استصلاح الأراضي واستغلالها في الزراعة، وانتشرت الطواحين الهوائية كذلك في الولايات المتحدة الأمريكية وبخاصة في المناطق الريفية التي كان من الصعب ايصال الخدمات الكهربائية اليها، ومع مطلع القرن العشرين كان في الريف الأمريكي آلاف الطواحين الهوائية المستعملة في خدمة المزارعين، الا أنه كما حصل مع السفن

١– Carr, D.E. **Energy and the Earth Machine.**
W.W. Norton and company, N.Y, USA, 1976 P 116.

الشراعية ، كان تطور الآلات الميكانيكية التي تعمل على مصادر الطاقة من فحم وغاز وبترول منافساً اقتصادياً كبيراً جعل من الاستمرار في استعمال الطواحين الهوائية أمراً غير اقتصادي ، وبذلك كان لابد للطاقة الهوائية أن تنزوي جانباً وأن تفسح المجال للفحم والغاز والبترول ، غير أن ازدياد وعي الانسان لأخطار التلوث وازدياد قناعته ومعرفته بأن مصادر الطاقة الحالية آخذة بالنضوب قد دفع به مرة أخرى إلى التفكير باعادة استعمال الطاقة الهوائية ، ذلك المصدر المتجدد والدائم.

اذن شكلت الطاقة الهوائية مصدراً مهماً من المصادر التي استخدمها الانسان عبر تاريخه في أغراض مختلفة كالزراعة والصناعة والنقل. غير أنه مع نهاية القرن التاسع عشر أخذ الانسان في التفكير في استخدام الطاقة الهوائية لتوليد الكهرباء، واذا كان الحديث يدور في يومنا هذا عن الطاقة الهوائية فان الاشارة غالباً ما تعني استعمال هذه الطاقة في توليد الكهرباء التي يمكن استخدامها بعد ذلك في العديد من الأغراض. والتركيز على توليد الطاقة الكهربائية بواسطة الطواحين الهوائية ليس أمراً اعتباطياً وانما تفرضه الظروف التي خلقها التطور التكنولوجي في العالم خلال القرنين التاسع عشر والعشرين، فعلى سبيل المثال أدى التطور التكنولوجي في العالم وتوسع الصناعة ومكننة الزراعة الى ضرورة توفر مصادر الطاقة بشكل دائم وبكميات وفيرة، غير أن الطاقة الهوائية أبعد ما تكون عن الانتظام في توفرها اذ تعتمد كمية الطاقة الممكن استخلاصها من الهواء على سرعة الهواء نفسه، والمعلوم أن سرعة الهواء ليست ثابتة بل تتغير بشكل كبير وخلال فترات قصيرة جداً، وعليه فان أصحاب المصالح الاقتصادية لا يستطيعون تكييف أنفسهم ومصالحهم بحيث ينتظرون هبوب الهواء وتوليد الطاقة ليبدءوا بعدها تشغيل معداتهم وأدواتهم الانتاجية ، أما في القرون الماضية وحين لم يكن الانتاج قد وصل الى درجة عالية من التنظيم وحين لم تكن هناك ضرورة حيوية لتوفر مصادر الطاقة طوال الوقت وبكميات وفيرة

فقد كان بالامكان استخدام الطواحين الهوائية لادارة الآلات والعمل عليها أثناء توفر الطاقة الهوائية، وكان بامكان الفلاح في السابق أن يؤجل طحن حبوبه لمدة يوم أو يومين، أما في عصرنا الحالي فان هذا الأمر ليس بتلك السهولة التي سادت في الماضي.

الطاقة الهوائية وتوليد الكهرباء:

مع دخول الانسان عصر الكهرباء واختراعه للمولدات الكهربائية والمحركات التي تعمل على الطاقة الكهربائية تغيرت صورة وضع الطاقة في العالم، فقد أصبح بالامكان انشاء محطة توليد كهرباء في مكان ما وتغذية منطقة بأكملها باحتياجاتها من الطاقة عبر الأسلاك الكهربائية ودون الحاجة الى تركيب هذه المولدات في كل بقعة ومكان تتوفر فيه الحاجة الى الطاقة الكهربائية، وتختلف هذه الصورة عن الوضع الذي كانت تعيشه الطواحين الهوائية والتي كان من الضروري ربطها بالآلة المراد استخدامها من أجل تقديم الطاقة المطلوبة، كذلك كانت الطاقة الكهربائية تعني أن الآلات الجديدة العاملة على الطاقة الكهربائية تتلقى كميات ثابتة من الطاقة حسب حاجتها وتعمل على سرعات ثابتة مما يعني أن الانسان أصبح قادراً على التنبؤ بما سيحصل عليه من آلاته وأدواته، أي أن الأمر لم يعد يعتمد على كمية الطاقة التي يولدها الهواء والتي كما قلنا سابقاً تتأثر بشكل كبير بأي تغير في سرعته.

لقد كان من نتائج هذا التحدي الذي واجهته الطاقة الهوائية أن اتجه تفكير الانسان نحو استخدام ذات الطاقة هذه لتوليد الكهرباء، فاذا كان في استطاعة طاحونة الهواء تشغيل مضخة ماء أو مطحنة دقيق فما الذي يمنع من استخدامها في تشغيل مولّد كهربائي لتوليد الطاقة الكهربائية؟ على هذا بدأت المحاولات منذ أواخر القرن التاسع عشر لتوليد الطاقة الكهربائية بواسطة طواحين الهواء التي تدار بالطاقة الهوائية.

ويعتبر البروفسور الدانماركي لاكور العالم الرائد في مجال توليد الطاقة الكهربائية بواسطة طواحين الهواء (٢)، وقد لا نستغرب هذا الأمر اذا علمنا أن الدانمارك كانت احدى الدول التي شاع فيها استعمال الطواحين الهوائية في القرن التاسع عشر بشكل واسع وبانتشار كبير، فبعض التقديرات تقول إنه كان في الدانمارك حوالي ٣٠ ألف طاحونة هوائية تعمل في الأغراض الزراعية والصناعية وتنتج ما يعادل ٢٠٠ ميغاواط من الطاقة الكهربائية، ولم تكن تستعمل هذه الطواحين الكثيرة في انتاج الكهرباء مباشرة لكن الطاقة التي وفرتها كانت تعادل مقدار ٢٠٠ ميغاواط، بدأ بروفسور لاكور بالعمل على تطوير الطواحين الهوائية في العقد الأخير من القرن التاسع عشر، وأدت بحوثه المكثفة في هذا المجال الى انتاج طواحين هوائية ذات كفاءة أعلى مما كان متعارفاً عليه قبل ذلك، وكذلك استطاع البرفسور لاكور ادخال تحسينات على تصميم الطواحين الهوائية مما جعلها أسرع في الدوران وأصبح من الممكن التحكم في سرعتها.

لقد كان من نتاج بحوث البروفسور لاكور أن تم تركيب طاحونة هوائية لها أربع شفرات قطر الشفرة منها ٧٥ قدماً وترتكز على برج حديدي ارتفاعه ٨٠ قدماً، وقد تم نقل الحركة من أعلى البرج الى أسفله بواسطة مجموعة من المسننات ربطت الى مولدين كهربائيين قوة الواحد منهما ٩ كيلو واط، وقد كان هذا الحادث أول فتح في مجال توليد الطاقة الكهربائية من الهواء، ومع عام ١٩١٠ كان قد تم تطوير مولدات كهربائية تعمل على الطواحين الهوائية بقدرة ٢٥ كيلو واط، ولم تتوقف الأمور عند ذلك الحد بل استمرت التطويرات والبحوث في التقدم، ووصل انتاج الكهرباء من الطواحين الهوائية الى أعلى مستوى في الدانمارك في شهر كانون الثاني من عام ١٩٤٢ حيث انتجت ٨٨ طاحونة هواء ما جوعه ٤٨١٧٨٥ كيلو واط.

---

٢ — Mcveigh, J.C. **Sun Power**, Pergamman Press, London, U.K. 1975.

لقد أثار توليد الكهرباء الهوائية اهتمام العلماء وشركات الطاقة في الدول الأخرى، ففي عام ١٩٢٢ كان هناك ٥٤ شركة أمريكية تصنع طواحين هوائية تستعمل في أغراض ضخ المياه وتوليد الكهرباء، ويبدو أن الولايات المتحدة كانت أرضا خصبة لهذا الشكل من التكنولوجيا نظرا لمساحتها الواسعة ولأن الكهرباء لم تكن قد وصلت بعد الى مناطق الولايات المتحدة كافة، وقد شمل تطوير الطواحين الهوائية انتاج طواحين ذات أحجام مختلفة وقدرات مختلفة لتناسب احتياجات مختلفة، ومع نهاية العشرينات من هذا القرن كانت تكنولوجيا الطواحين الهوائية قد تطورت بحيث أصبح بالامكان التحكم بدرجة ميل الشفرة حسب سرعة الهواء من أجل الحصول على أفضل اداء وأفضل كفاءة للطاحونة، كذلك تم ادخال تصاميم جديدة منها الطواحين التي لها شفرتان بدلا من ثلاث وذلك لغرض تقليل الاهتزاز في الطاحونة مما يعني اطالة فترة استخدامها وتقليل آثار الاهتزاز على اجهاد المعادن، وكان الادميرال بيرد قد أخذ معه إحدى الطواحين الهوائية ذات الشفرتين أثناء رحلته الى القطب الجنوبي في الثلاثينات واستمرت هذه الطاحونة في العمل حتى عام ١٩٤٦ حين عاد الى هناك مرة أخرى، وفي عام ١٩٤١ تم تركيب أكبر طاحونة هوائية في فيرمونت في أمريكا وكان لها شفرتان قطر الواحدة منها ١٧٥ قدما، وقد كان مقدرا لهذه الطاحونة أن تنتج ١٫٢٥ ميغاواط، واشتغلت بالفعل لبعض الوقت ثم بدأت بعض المشكلات الميكانيكية تظهر مما أدى الى غض النظر عن متابعة العمل بها، والواقع ان المشكلات التي ظهرت في هذه الطاحونة العملاقة لم يكن لها علاقة بمفهوم توليد الطاقة الكهربائية وانما تسببت عن عدم قدرة بعض الأجزاء الميكانيكية على تحمل قوة الهواء والاجهادات الناتجة عن ذلك.

أما في الاتحاد السوفيتي فقد تم بناء أول طاحونة هواء لتوليد الطاقة الكهربائية في عام ١٩٣١، وقد ربطت هذه الطاحونة بمولد كهربائي

قدرته ١٠٠ كيلو واط، واحتوى تصميم هذه الطاحونة على جهاز للتحكم بدرجة ميل الشفرة، وبلغ الانتاج السنوي لهذه المحطة ٢٧٩،٠٠٠ كيلو واط.

وانتشرت طواحين الهواء المستخدمة في توليد الطاقة في أجزاء أخرى من العالم، فقد تم بناء طاحونتين في بريطانيا بعد الحرب العالمية الثانية قوة كل منهما ١٠٠ كيلو واط. وقد تم تركيب واحدة منهما في جزر الأوركني في شمال اسكتلندة، وأما الثانية فلم يكن بالامكان اختبارها في بريطانيا بسبب الأحوال الجوية الرديئة التي سادت المنطقة التي بنيت فيها المحطة وكانت النتيجة أن تم بيعها الى شركة كهرباء وغاز الجزائر، وقد تم تركيب هذه الطاحونة بالفعل في الجزائر.

إضافة الى ذلك انتشرت أجهزة أخرى تعمل بالطاقة الهوائية وتعرف باسم المولدات الهوائية لكنها على العموم ذات قوة صغيرة اذ يتراوح انتاجها من ٢،١ ــ ٢ كيلو واط وهي متوفرة في الأسواق الأوروبية (٣).

الطاقة الاحتمالية في الهواء:

ان التفكير باستغلال الطاقة الهوائية يتطلب في البداية معرفة الكثير من المعلومات التفصيلية عن حركة الهواء في المنطقة موضع الاهتمام. ويقتضي هذا الأمر القيام بالعديد من القياسات وعلى فترات مختلفة من أجل الحصول على صورة واضحة عن امكانات استغلال الطاقة الهوائية، لكن ما هي الطاقة الهوائية وما هي مسبباتها؟

إن الطاقة الهوائية ليست في الواقع الآ احدى نتائج الطاقة الشمسيّة، فالمعروف ان حركة الهواء تتأثر بالعلاقة بين الشمس وتأثيراتها على الغلاف الهوائي المحيط بكوكبنا، فعندما تسقط أشعة الشمس في منطقة ما فان هذا يؤدي الى تسخين الهواء، لكننا نعلم أن الهواء يتأثر بالحرارة بشكل كبير اذ

---

٣ ــ Boyle, G., **Living on the Sun**, Marion Boyars, London, U.K. 1977, P. 61.

يزداد حجمه وتقل كثافته مع ارتفاع الحرارة، ويعني هذا في النهاية تقليل وزن عمود الهواء على وحدة المساحة في المنطقة المعرضة للاشعاع الشمسي الكثير، ويقود هذا بدوره الى تقليل الضغط الجوي في المنطقة المذكورة، أما في المناطق التي لايتوفر فيها اشعاع شمسي كثير فان ثقل عمود الهواء وبالتالي الضغط الجوي على وحدة المساحة يكون أعلى مما هو الحال في منطقة الاشعاع الشمسي الكثير. نحن هنا اذن أمام اختلاف في الضغط الجوي بين منطقة وأخرى ولابد من معادلة هذا الفرق مادام هناك امكان فعل ذلك، وعليه فان الهواء يتحرك من المنطقة ذات الضغط المرتفع الى المنطقة ذات الضغظ المنخفض، إن الفرق في الضغط الجوي بين منطقة وأخرى هو في الواقع نظام تخزين للطاقة وفي الحالة التي نناقشها هنا فان نظام التخزين هذا هو نظام تخزين للطاقة الشمسية، إن الهواء هو الوسيط أو الأداة التي تقوم بمعادلة الضغوط، ان كل ما يستطيع فعله الانسان للاستفادة من مخزون الطاقة هذا هو أن يقوم بتركيب بعض طواحين الهواء في طريق مسار الهواء للاستفادة من جزء من الطاقة التي يحملها الهواء، ومن الواضح أننا لا نستطيع التحكم في نظام التخزين الذي نتكلم عنه لكننا نستطيع بالتأكيد الحصول على جزء من مخزون الطاقة فيه.

والحقيقة أن الطاقة الهوائية مثلها مثل الطاقة الشمسية وطاقة أمواج البحر وطاقة المد والجزر والطاقة الحرارية في البحار والمحيطات كلها مصادر طبيعية من الطاقة لا نستطيع التحكم في مقدار المخزون فيها وان كان باستطاعتنا أن نحصل على بعض هذا المخزون، ومن الضروري حين نتحدث عن استغلال مصادر الطاقة التي توفرها الطبيعة بشكل مستمر ودائم أن نعي منذ البداية اننا محكومون بالطبيعة ذاتها وبالقوانين التي تتحكم فيها وان كل جهدنا لابد أن ينصب على فهم هذه القوانين من أجل زيادة قدرتنا على الاستفادة من هذه المعطيات الطبيعية، وصحيح ان باستطاعة الانسان التدخل في بعض هذه المعطيات لكن تدخله هذا محفوف بالكثير من

الأخطار، ومن الأفضل أن تتركز الجهود على توسيع استفادتنا من هذه المعطيات وتكثيف ذلك.

إن حساب كمية الطاقة التي يمكن الحصول عليها من الهواء ليس بالأمر السهل. فالطاقة التي نستطيع الحصول عليها ليست سوى جزء بسيط من مجمل الطاقة الهوائية المتوفرة. وتعتمد كمية الطاقة الهوائية على عدة عوامل منها مساحة عجلة الطاحونة الهوائية وسرعة الهواء، ولكن اذا كان بالامكان التحكم في مساحة عجلة الطاحونة الهوائية فمن الصعب جداً أن نطمح الى التحكم بسرعة الهواء، أو حتى الى توقع تلك السرعة بشكل دقيق في أية لحظة خلال فترة زمنية معينة، إن حركة الهواء عشوائية ومتقطعة، فسرعة الهواء قد تتغير بمقدار الضعف خلال ثوان قليلة مما يعني أن كمية الطاقة التي يمكن الحصول عليها ستتغير أضعاف المرات. ان هذا ليس بالأمر الغريب وبخاصة اذا أخذنا بعين الاعتبار أن كمية الطاقة الهوائية تتغير طردياً مع مكعب قيمة السرعة، ان هذا يعني أنه اذا انخفضت سرعة الهواء بمقدار النصف فان كمية الطاقة الهوائية تنخفض الى ١٢٥ر من القيمة الأصلية، أما اذا تضاعفت سرعة الهواء فان ذلك يعني زيادة الطاقة بمعدل ثماني مرات.

لكن اذا توفرت معلومات كافية لدى الباحث المختص عن خصائص الهواء في منطقة ما وعن سرعته واتجاهاته ومساراته ومعدل التغير في سرعته والحدود التي تتغير ضمنها سرعته فان بالامكان الحصول على فكرة معقولة عن كمية الطاقة التي يمكن الحصول عليها فيما لو تم تركيب طاحونة هوائية في المنطقة المذكورة، وبالامكان حساب كمية الطاقة التي يمتلكها الهواء من خلال المعادلات الرياضية الخاصة بالطاقة الحركية، فالطاقة الحركية لأي جسم متحرك هي نصف حاصل ضرب كتلته في مربع سرعته، واذا

وضعنا الأمر بشكل معادلة رياضية تصبح كالتالي (٤) :-

الطاقة الحركية = $\frac{١}{٢}$ × الكتلة × مربع السرعة.

لكننا نعلم من جانب آخر ان الكتلة تساوي الحجم مضروباً بالكثافة.

الكتلة = الحجم × الكثافة.

أما حجم الهواء في بحثنا هذا فيمكن حسابه من معرفة مساحة عجلة الطاحونة مضروباً في سرعة الهواء.

الحجم = المساحة × السرعة.

اذا قمنا بتعويض معادلتي الحجم والكتلة في معادلة الطاقة الحركية فاننا نحصل على المعادلة التالية :-

الطاقة الحركية = $\frac{١}{٢}$ × المساحة × الكثافة × مكعب السرعة

وحيث إن عجلة طاحونة الهواء تتخذ شكلاً دائرياً فان المساحة المشار اليها في المعادلة السابقة تكون متناسبة مع مربع قطر العجلة، وعلى ذلك فالطاقة الحركية تصبح متناسبة مع مربع قطر عجلة الطاحونة الهوائية مضروباً في مكعب سرعة الهواء. واذا كان باستطاعتنا التحكم في مقاييس طاحونة الهواء وقطر عجلتها اعتماداً على المعلومات الهندسية المتوفرة لدينا، فانه من غير الممكن التحكم في سرعة الهواء، وما نستطيع القيام به هو الحصول على المعلومات الخاصة بطبيعة حركة الهواء لتعطينا صورة معقولة عن الطاقة التي يمكن الحصول عليها، لكن وكما هو الحال في الآلات الميكانيكية فاننا لا نستطيع الحصول على كل الطاقة حسب معادلاتنا السابقة، وذلك لأن الطاحونة الهوائية لا تعمل بكفاءة تامة، وكذلك هناك جزء من الطاقة يضيع بسبب الاحتكاك بين أجزاء الطاحونة المختلفة مثل

---

٤ — Hickok, F., **Handbook of Solar and Wind Energy**, Cahners Publishing Company, Inc. Ma. USA, 1975, P. 58.

المسننات وغيرها ، أما التحديد الآخر فيتعلق بالمولد الكهربائي نفسه اذ أن هذه المولدات تعمل ضمن نطاق معين من السرعات فاذا كانت سرعة الطاحونة أعلى أو أقل من نطاق السرعات المذكورة فان المولد الكهربائي لا يمكنه العمل وانتاج الطاقة الكهربائية ، إن معنى هذا أن بامكان الطاحونة الهوائية أن تكون مصدر طاقة ضمن سرعات معينة للهواء، والمعمول به في المجال العملي أنه اذا زادت سرعة الهواء عن حدود معينة فانه يتم ايقاف الطاحونة تماماً اذ أن تشغيلها على تلك السرعات يشكل خطراً على سلامة الطاحونة نفسها ناهيك عن أن المولد الكهربائي نفسه لن يعمل على تلك السرعات العالية .

إن الطواحين الهوائية المتوفرة في عصرنا تعمل ضمن مجال من سرعات الهواء من ٨ ــ ٦٠ ميلاً في الساعة (٣٫٦٠ ــ ٢٧ متراً في الثانية). لكن كفاءة الطاحونة تتأثر بشكل مباشر بمدى سرعات الهواء السائدة في المنطقة موضع الاهتمام . فلو افترضنا مثلاً أن طاحونة هوائية تعمل بنفس الكفاءة على سرعات هواء من ١١ ــ ٢٢ ميلاً في الساعة (٥ ــ ١٠ أمتار في الثانية)، ولو افترضنا أنه تم تركيب طاحونة هوائية في هذه المنطقة ذات قطر يساوي خمسة أمتار فان الطاحونة تنتج ما يعادل نصف كيلو واط على سرعة خمسة أمتار في الثانية بينما تنتج حوالي ٤ كيلو واط على سرعة هواء تساوي عشرة أمتار في الثانية ، أي ما يعادل ثمانية أضعاف انتاجها على السرعة المنخفضة .

حركة الرياح واختيار الأماكن الملائمة (٥) :

لاحظنا من المعادلات أعلاه أن كمية الطاقة التي يمكن الحصول عليها من الهواء تتناسب طردياً مع مكعب سرعة الهواء. كما لاحظنا أيضاً أن أي تغير في سرعة الهواء يؤثر بشكل كبير على كمية الطاقة في الهواء. وبناء

---

(٥) Simmons, **Wind Power**, Noyes Data Corp., London England, 1975, P. 5.

على ذلك فانه من الضروري جداً قبل البدء بتنفيذ أي من مشاريع الطاقة الهوائية الحصول على معلومات كافية ومعتمد عليها عن أحوال التيارات الهوائية في المنطقة موضع الاهتمام. ويجب أن تشتمل هذه القياسات على القيم اللحظية لسرعة الهواء وعلى معدل سرعة الهواء سواء في اليوم الواحد أو خلال الشهر الواحد وحتى العام الواحد. كما يجب معرفة اتجاهات حركة الهواء حتى يمكن الأخذ بعين الاعتبار ما اذا كان سيتم انشاء طاحونة هواء ثابتة أو متحركة وكذلك لمعرفة ما اذا كان من الضروري التحكم في درجة ميل الشفرة أم لا.

وتقوم محطات الأرصاد الجوية في العادة بأخذ قياسات لسرعة الهواء في المطارات وبعض الأماكن الأخرى، لكن يجب ملاحظة أن هذه القياسات ليست كافية لأغراض دراسة امكانات استغلال الطاقة الهوائية، إن الأغراض التي تنشأ من أجلها محطات الأرصاد الجوية مرتبطة بحركة الطيران والملاحة الجوية أكثر من ارتباطها بأغراض دراسة حركة الهواء وتياراته، ففي العادة لا يتم انشاء المطارات في المناطق التي تسود فيها سرعة هواء عالية، بينما يقوم المختصون في مجال الطاقة الهوائية بالبحث عن هذه الأماكن بالذات اذ أنها في العادة الأماكن المرشحة أكثر من غيرها لانشاء الطواحين الهوائية، كذلك فان محطات الأرصاد الجوية تقوم بقياس سرعة الهواء على ارتفاع بسيط عن سطح الأرض، لكننا نعلم أن سرعة الهواء تزداد طردياً مع ارتفاعنا عن سطح الأرض، ولذا فمن الضروري حين اجراء مسح عن أحوال الهواء في منطقة ما أن يتم قياس سرعة الهواء على ارتفاعات مختلفة.

ان القيام بقياسات لسرعة الهواء وأحواله في منطقة ما يحقق الأهداف التالية:

١ ـ تقديم معلومات يمكن فيها التنبؤ بكمية الطاقة الناتجة من طاحونة

هوائية معينة فيما لو تم انشاؤها في منطقة القياس ، وهذا يستدعي القيام بقياسات لسرعة الهواء في أكثر من منطقة وذلك لتحديد المنطقة المثلى .

٢ ــ تقديم معلومات عن تركيب الهواء تحت مختلف الظروف الجوية ، وقد رأينا في المعادلات السابقة أنه رغم أن طاقة الهواء تتناسب مع مكعب السرعة إلا أنها في ذات الوقت تتناسب مع كثافة الهواء ، ولذلك فكلما ارتفعت درجة حرارة الهواء انخفضت كثافته وانخفضت بالتالي كمية الطاقة .

٣ ــ تقديم المعلومات اللازمة والكافية والمعتمد عليها للمختصين في مجالات التصميم والتركيب . وفي هذا المجال فان القياسات ستمكن المصممين من تقرير ما اذا كان من الضروري استعمال أدوات التحكم باتجاه الطاحونة أو بدرجة ميل الشفرات ، كذلك ستمكنهم من حساب القوى المؤثرة على الطاحونة لتصميمها بشكل يجعلها قادرة على تحمل أقسى الظروف الممكنة .

ومن أجل تحقيق هذه الأهداف فان الأمر يقتضي القيام بقياسات ذات طابع زماني لخصائص الهواء ، بمعنى القيام بالقياسات التالية :ـ

١ ــ قياسات طويلة الأمد :

ان الحصول على سرعة الهواء لمدة طويلة (سنة مثلاً) يجعل من الممكن حساب كمية الطاقة الاحتمالية في منطقة القياس ، فلو افترضنا أن الطاحونة الهوائية تعمل بكفاءة ثابتة تحت جميع سرعات الهواء وأن الطاحونة تعمل على جميع سرعات الهواء المتوفرة بغض النظر عن كون السرعة صغيرة أو كبيرة لأمكننا بالفعل استعمال جهاز يقوم بأخذ القراءة اللحظية لسرعة الهواء ثم القيام بعملية تفاضلية لمعادلة الطاقة الحركية والحصول على تقديرات لكمية الطاقة المتوفرة والممكن الحصول عليها ، كذلك فان عملا

كهذا يجعل من الممكن اجراء مقارنات بين المناطق المختلفة من أجل اختيار أفضلها، لكننا نعلم أن الطواحين تعمل بكفاءة مختلفة تحت السرعات المختلفة للهواء وكذلك نعلم أن الطواحين الهوائية تعمل ضمن سرعات معينة للهواء وليس على أية سرعة، إن هذه التحديدات لا تقلل بأي شكل من ضرورة القيام بالقياسات طويلة الامد، اذ أن هذه القياسات تمكننا من معرفة الفترات الزمانية التي كانت فيها سرعة الهواء ذات قيمة معينة، ان معرفتنا للفترات الزمانية للسرعات المختلفة ولقيم السرعات نفسها تمكننا من حساب كمية الطاقة التي يمكن الاستفادة منها في موقع القياس.

ومن أجل الحصول على كمية الطاقة المتوفرة في الهواء في منطقة ما والتي يمكن الاستفادة منها في ذات الوقت يلجأ المختصون في العادة الى رسم منحنيات تمثل العلاقة بين سرعات الهواء المختلفة وفتراتها الزمنية، وانطلاقاً من هذا المنحنى يتم رسم منحنى آخر يمثل كمية الطاقة المتوفرة على السرعات المختلفة على امتداد فترة القياس. ان المنحنى الأخير ذو أهمية خاصة يستطيع من خلاله الشخص المختص أن يحصل على فكرة عامة عن كمية الطاقة المتوفرة وعن مجال سرعات الهواء التي تعطي أفضل النتائج، واعتماداً على هذه المعلومات يستطيع المختص تحديد الخطوط العريضة التي سيعمل ضمنها أثناء عملية التصميم. و يبين الشكلان (١) و (٢) نماذج توضيحية لهذه المنحنيات.

٢ ــ قياسات متوسطة الأمد:

تشمل هذه القياسات فترات قصيرة نسبياً أي يوماً واحداً أو أياماً قليلة. وليس المقصود من هذه السرعات معرفة كمية الطاقة الاحتمالية فقط، وانما قياس توزيع سرعة الهواء في الاتجاهات الأفقية والعمودية، ومعرفة اتجاه هبوب الهواء ومساراته، وقياسات كهذه هي التي تمكن المصمم من حساب القوى المؤثرة على الطاحونة من أجل أخذها بعين الاعتبار أثناء التصميم واتخاذ الاجراءات اللازمة لتلافي آثارها على

الطاحونة وأدائها، وهي التي تمكن المصمم من تحديد ما اذا كانت هناك حاجة لتركيب أجهزة التحكم باتجاه الطاحونة وحركة شفراتها، اضافة الى ما تقدم فان معرفة التغيرات اليومية في سرعة الهواء تمكن المختص من حساب كميات الطاقة الناتجة في كل ساعة من أجل مقارنتها مع كمية الطاقة المطلوبة من المحطة التي هي قيد الدرس. وبذا يستطيع المختص تقرير ما اذا كانت هناك ضرورة لخزن الطاقة الزائدة ــ إن توفرت ــ وأشكال أنظمة التخزين المطلوبة وأحجامها، وسنقوم بالاشارة الى مسألة تخزين الطاقة الزائدة لاحقاً.

٣ ــ القياسات القصيرة الأمد:

إن المقصود بالقياسات القصيرة الأمد هو قياس سرعة الهواء على مدى دقائق قليلة أو حتى ثوان قليلة، ويتطلب هذا النوع من القياسات أجهزة خاصة ذات استجابة سريعة تجعل من الممكن قياس العصفات الهوائية التي تستمر لفترات قصيرة جداً، وتكمن فائدة هذه القياسات في دراسة تأثير هذه العصفات التي تكون عالية السرعة في العادة على عمل طاحونة الهواء والمولد الكهربائي وأدائها أيضاً، وتعمل المولدات الكهربائية في العادة ضمن مجال معين من السرعات ويتأثر أداؤها وربما استمرار عملها بالمحافظة على العمل ضمن هذا المجال من السرعات، وحين تزداد سرعة الهواء عن حدود معينة يتم ايقاف المولد حفاظاً على سلامته. ولذلك لابد من معرفة خصائص العصفات الهوائية المفاجئة لمعرفة مدى تأثيرها على سلامة المولدات الكهربائية وأخذ الاجراءات اللازمة لاحتواء تأثيرها وذلك أثناء عملية التصميم، كذلك فان للعصفات الهوائية تأثيراً على بعض الجوانب الميكانيكية من تصميم الطاحونة نفسها والمتمثل بالاجهاد العالي والمفاجىء الذي تتعرض له أجزاء الطاحونة.

وبالنسبة لمستقبل الطاقة الهوائية في العالم العربي يجب القول إنه لا بد من القيام بدراسات وافية وتفصيلية عن أحوال الهواء في العالم العربي قبل

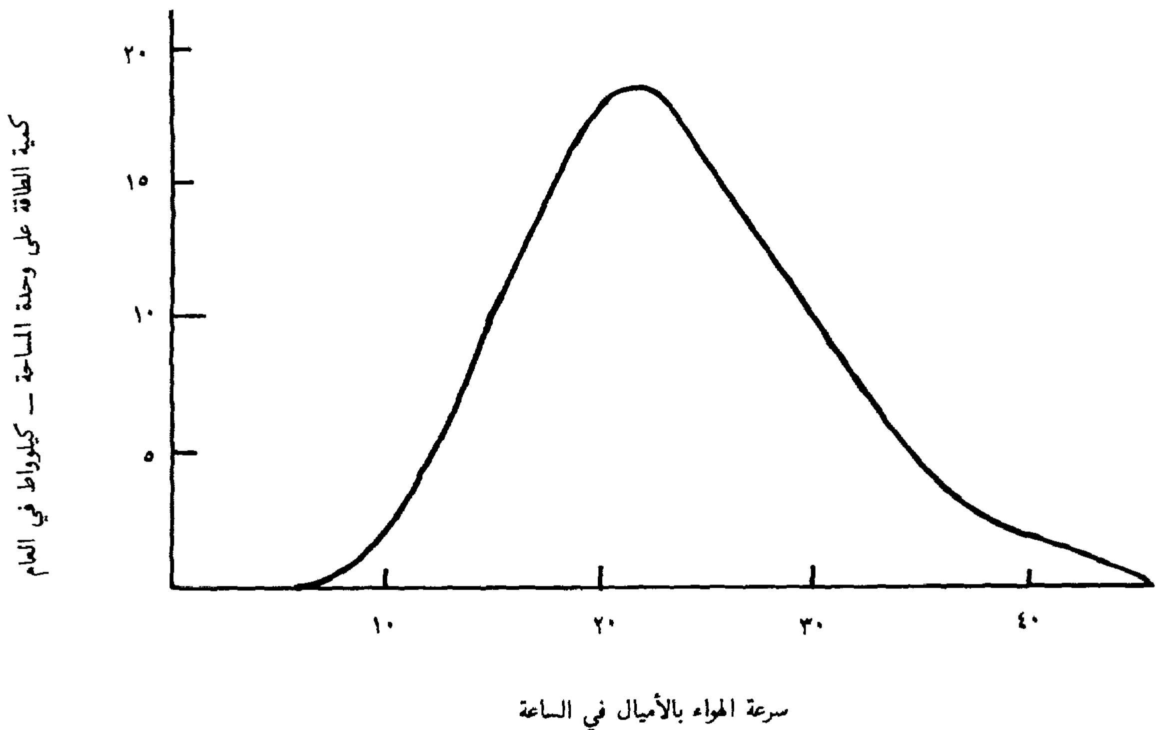
تقرير ما اذا كان هناك امكانية لاستغلال هذه الطاقة المتجددة والدائمة، ولكن يمكن القول ـ بشكل عام ـ إن المناطق الواقعة على سواحل البحار وعلى قمم الهضاب والتلال هي في العادة من الأماكن المرشحة لنجاح مشاريع الطاقة الهوائية، وعليه فاننا نعتقد أن هناك امكانية لقيام مشاريع الطاقة الهوائية في أجزاء عديدة من العالم العربي، وفي عام ١٩٦١م عقدت الأمم المتحدة مؤتمراً لمنظمة الأرصاد العالمية، وقد تم في هذا المؤتمر نشر نتائج مسح قامت به المنظمة في أجزاء عديدة من العالم من ضمنها بعض الدول العربية. وفي **الجدول رقم (١)** نقدم نتائج هذا المسح المتعلقة بالعالم العربي.

جدول رقم (١)

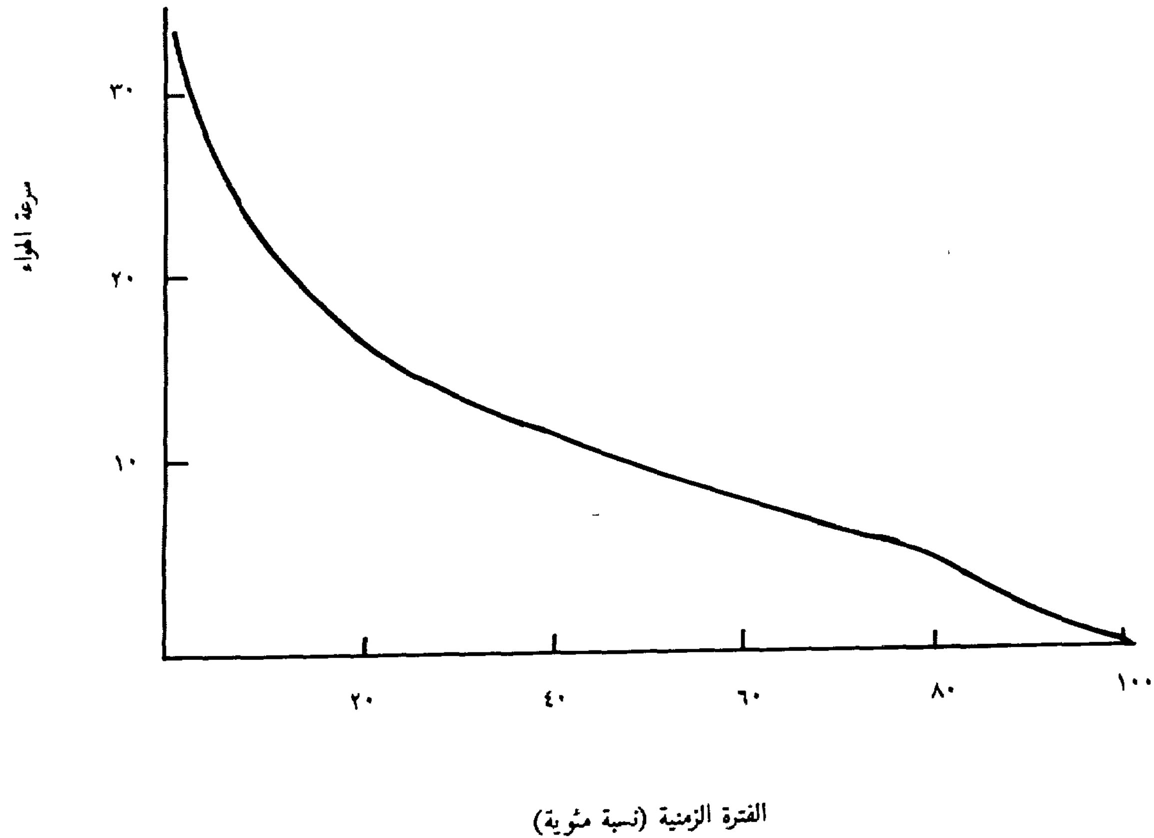
نتائج قياسات سرعة الهواء في بعض الدول العربية

البلد	أدنى سرعة		أعلى سرعة	
	متر/الثانية	ميل/الساعة	متر/الثانية	ميل/الساعة
الجزائر	١٫٤	٣٫٢٥	٤٫٦	١٠٫٤٠
مصر	٢٫٤	٥٫٤	٥	١١٫٣٠
ليبيا	٢٫٧	٦٫١	٦٫٣	١٤٫٢
السودان	١٫٥	٣٫٤	٤٫٤	١٠٫٠٠
تونس	٢٫٦	٥٫٩	٥٫٩	١٣٫٣
السعودية	١٫٧	٣٫٨	٥٫٦	١٢٫٦
العراق	٤٫١	٩٫٢	٤٫١	٩٫٢

عن : World Meteorological organization, U.N. Conference, August 1961.



شكل ١ ــ منحنى نموذجي لكمية الطاقة المتوفرة خلال العام الواحد



شكل ٢ ــ منحنى نموذجي لسرعة الهواء خلال العام الواحد

تحويل الطاقة الهوائية وخزنها:

إن النجاح في تصميم طاحونة هواء وتركيبها وتشغيلها ليس نهاية القصد من الطاقة الهوائية، ففي الغالب لا يشغل المستهلك العادي نفسه بالسؤال عن الطريقة التي يتم بها ضمان ايصال التيار الكهربائي الى منزله أو مكان عمله حسب مواصفات ثابتة، اذ أن ما يهم المستهلك في العادة هو توفر مصدر كهربائي صالح للاستعمال ودائم ما أمكن ذلك وأن لا يعرض أيا من الأدوات الكهربائية التي يستعملها للخطر.

إن البحث عن امكان استخدام الطاقة الهوائية يقتضي بالضرورة دراسة وسائل ايصال هذه الطاقة بشكل مأمون الى مواقع الاستهلاك بحيث تلبي احتياجات المستهلكين، وكما نعلم فان استهلاكنا من الكهرباء ليس ثابتاً بل يتغير حسب ساعات النهار، فهناك ساعات يزداد فيها الطلب على الكهرباء بينما يقل الطلب في ساعات أخرى.

إن للطاقة الهوائية مشكلاتها الخاصة في هذا المجال، فقد رأينا سابقاً أن هذه الطاقة ليست ثابتة بل تتغير بشكل كبير نتيجة لاختلاف سرعة الهواء وبالتالي يتغير انتاج المولد الكهربائي، كذلك فالمولدات الكهربائية تعمل بكفاءات مختلفة تحت السرعات المختلفة للهواء، وهو الأمر الذي يساهم في تغير انتاج الكهرباء، ومن الجانب الآخر فهناك طلب متغير على الكهرباء من جانب المستهلك.

اذن نحن أمام علاقة يتغير فيها العرض والطلب دون توفر القدرة على التحكم في أي منهما، مع أنه يجب على المختصين في مجال الطاقة الهوائية محاولة تقديم حلول معقولة تضمن خلق توازن بين العرض والطلب، إن خلق حالة التوازن هذه يقتضي دراسة مسألتي تحويل الطاقة الهوائية وخزنها.

إن المقصود بالتحويل هو تحويل الحركة الناشئة عن دوران عجلة الطاحونة الهوائية الى طاقة كهربائية. وهنا علينا ملاحظة أنه نظرا لان

سرعة عجلة الطاحونة متغيرة وتتغير تبعاً لذلك السرعة في المسننات التي تقوم بنقل الحركة، وهذا يؤدي بالتالي الى تغير سرعة المولد الكهربائي، وبالنتيجة يتم الحصول على تيار كهربائي ذي ترددات (ذبذبات) مختلفة، إن تياراً كهذا لا يصلح لتشغيل المعدات والآلات أو اضاءة المصابيح الكهربائية التي تتطلب جميعاً مصدراً كهربائياً ثابت الخصائص، ومن أجل حل هذه المشكلة فقد تقدم بعض العلماء المختصين في مجال التحويل الكهربائي بمجموعة من الأفكار مثل تصميم أجهزة تحويل تنتج تياراً بتردد ثابت بغض النظر عن سرعة المولد الكهربائي نفسه، اضافة الى بعض الأفكار الأخرى التي مازالت قيد البحث والدراسة والتطوير.

وأما بالنسبة لتخزين الطاقة فالمقصود من ذلك الاحتفاظ بهذه الطاقة تحت أشكال مختلفة بحيث يمكن استعمالها وتوليد الكهرباء من هذا المخزون عند الحاجة، والطرق المتوفرة حالياً لخزن الطاقة الكهربائية بشكل كهرباء تتمثل بشحن البطاريات واعادة استعمالها عندما تقتضي الحاجة، ولكن من الواضح أن خزن كمية كبيرة من الكهرباء يقتضي استعمال عدد كبير من البطاريات إضافة الى أن للبطارية عمراً محدوداً ويمكن شحنها وتفريغها مرات محدودة، فمثلاً تعمل بطارية السيارة على ١٢ ڤولت ولها سعة خزن قيمتها ٥٠ أمبير ساعة، أي أن باستطاعتها اعطاء تيار كهربائي قوته ٥٠ أمبير لمدة ساعة واحدة، أو ما يعادل ٦٠٠ واط ساعة، ويمكننا تكوين صورة عن كمية الخزن هذه اذا تذكرنا أن المصابيح الكهربائية شائعة الاستعمال يستهلك الواحد منها ما بين ٦٠ ـــ ١٠٠ واط ساعة.

لذلك ومن أجل التغلب على هذه التحديدات فقد تم اقتراح أن تستعمل الطاقة الزائدة عن الطلب أو حتى كل طاقة الطاحونة الهوائية لضغط الهواء في خزانات كبيرة تحت الأرض على ضغوط عالية تصل الى مئات الأرطال على البوصة المربعة، ثم استعمال هذا الهواء المضغوط لتشغيل توربينات موصولة مع مولدات كهربائية، وحيث إن سعة خزان

الهواء تكون كبيرة في العادة فانه يمكن ضمان أن يكون هناك مخزون من الهواء كاف لتشغيل التوربين ومولد الكهرباء لفترة طويلة نسبياً قد تصل الى حوالي أسبوع ، وهناك آراء عديدة مطروحة في مجال تخزين الطاقة الهوائية مثل ضخ المياه وخزنها في خزانات ثم استعمالها لتشغيل توربينات مائية .

الفصل الثالث

الطاقة الحرارية في البحار والمحيطات

تغطي البحار والمحيطات مساحات واسعة جداً من سطح الكرة الأرضية، فبينما تبلغ مساحة اليابسة على الأرض ١٤٩ مليون كيلومتر، فإن البحار والمحيطات تغطي ما مساحته ٣٦١ مليون كيلومتر مربع، أي أكثر من ضعف مساحة اليابسة، ومعروف تاريخياً أن الانسان استعمل ومازال يستعمل البحار والمحيطات للعديد من الأغراض سواء لانتاج غذائه أو لانتقاله من مكان الى آخر. وقد كانت الحاجة هي الدافع الرئيسي وراء اكتشاف الانسان لكل ما هو مجهول بالنسبة له سواء على اليابسة أو في البحار. واليوم وحيث يعيش الانسان وهاجس استنزاف مصادر الطاقة التي بين يديه يؤرقه فانه يجد في البحث عن بدائل تخدمه في المستقبل، وكما شكل البحر في الماضي مصدراً مهماً لغذاء الانسان وانتقاله فانه يشكل اليوم ــ اضافة الى ماتقدم ــ مصدراً احتمالياً كبيراً من الطاقة.

هناك أشكال عديدة من الطاقة يستطيع الانسان الحصول عليها من البحر، فهناك حركة المد والجزر التي تؤدي الى ارتفاع منسوب المياه على الشواطىء ثم انخفاضها ضمن حركة دورية تتكرر بشكل منتظم. وقد تمكن الانسان من الاستفادة من هذه الظاهرة في أعمال الملاحة، وأخيراً في توليد الطاقة الكهربائية كما في كندا وفرنسا والاتحاد السوفيتي، كذلك هناك أمواج البحر التي مازالت تشكل خطراً على الكثير من المدن في العالم، وهنا يجري العمل حالياً في بريطانيا واليابان على استغلال طاقة

الأمواج هذه في توليد الطاقة، لكن ما يهمنا هنا بالتحديد هو استغلال الطاقة الحرارية في البحار والمحيطات لتوليد الطاقة الكهربائية أو انتاج الهيدروجين الذي يمكن استعماله كوقود لتوليد الطاقة.

وقد يبدو غريباً للوهلة الأولى أن نتكلم عن الطاقة الحرارية في البحار والمحيطات خاصة وأننا نعلم أن درجة حرارة مياه البحر لا ترتفع كثيراً حتى في فصل الصيف. فدرجة حرارة الماء السطحية في البحار والمحيطات لا ترتفع الى أكثر من ٣٠ درجة مئوية في العادة في أي مكان من العالم. وفي العادة تكون أقل من هذا، اذن ماذا نقصد بالطاقة الحرارية في البحار والمحيطات؟

صحيح أن درجة حرارة مياه البحار والمحيطات لا ترتفع الى أكثر من ٣٠ درجة مئوية حتى عند خط الاستواء، لكن لو حاولنا أن ننظر الى أعماق هذه البحار والمحيطات لوجدنا أن هناك صورة مختلفة اذ لا ترتفع درجة الحرارة في أعماق البحار والمحيطات عن ٥ درجات مئوية، اذن هناك فوارق في درجة حرارة الماء ما بين السطح والقعر، أو ما بين الماء على سطح البحر والماء على عمق مئات الأمتار، ان هذا الفارق في درجات الحرارة هو ما يهمنا هنا وهو ما يشكل مصدراً حرارياً كبيراً للانسان يستطيع استغلاله في توليد الطاقة أو انتاج الهيدروجين.

لكن من أين تأتي حرارة البحار والمحيطات هذه؟

هناك مصدر رئيسي هو الشمس، فأشعة الشمس تسقط على سطح الكرة الأرضية سواء اليابسة منها أو البحار وتقوم المياه بامتصاص قسم من هذه الطاقة بشكل طاقة حرارية، كما أن قسماً آخر منها يدخل في تبخير المياه التي تتحول الى غيوم وأمطار، وهناك قسم آخر ينعكس من على سطح المياه وينتشر في الجو، ومن مجمل الطاقة الشمسية الساقطة على البحار والمحيطات يهمنا هنا ذلك الجزء منها الذي تمتصه المياه و يتحول الى

طاقة حرارية تؤدي الى رفع درجة حرارة المياه على السطح، أما المياه الموجودة على أعماق مئات الأمتار فان تأثرها بالشمس قليل بسبب أن على الحرارة أن تخترق مسافات طويلة للوصول الى مياه الأعماق، ولذلك تبقى هذه الطبقات من المياه أبرد منها على السطح، وتتشكل بالتالي حالة من التدرج الحراري تتميز بارتفاع درجة الحرارة على السطح فوق درجة الحرارة في الأعماق، وهذا الفارق في درجات الحرارة هو ما يشكل خزاناً احتمالياً كبيراً من الطاقة.

ويشير ظاهر الأمر الى أن هناك اختلافاً في طبيعة التدرج الحراري بين التدرج في البحار والتدرج في اليابسة وكما سنشير في الفصل الخاص بالطاقة الجيوحرارية فإن درجة حرارة الأرض تزداد مع ازدياد العمق، بينما نلاحظ أن الوضع في البحار والمحيطات مختلف اذ تنخفض درجة الحرارة مع ازدياد عمق المياه، ويعزي هذا الاختلاف الظاهري الى طبيعة العوامل المولدة للتدرج الحراري في كلتا الحالتين، فالتدرج الحراري في البحار والمحيطات ينشأ عن تأثير سقوط أشعة الشمس على المياه مما يؤدي الى تسخين طبقات المياه على السطح بينما تبقى الطبقات العميقة على درجات حرارة منخفضة لا تتأثر بأشعة الشمس، أو يكون تأثير أشعة الشمس قليلا جداً، أما الطاقة الجيوحرارية فهي تحدث بسبب المصادر الحرارية الموجودة في باطن الأرض وليس بسبب سقوط أشعة الشمس على اليابسة، ومصادر الطاقة الجيوحرارية هذه تتشكل من اشعاعات المواد المشعة الموجودة في باطن الأرض ومن عوامل احتكاك الطبقات الأرضية بعضها ببعض وأسباب أخرى، اضافة الى ما تقدم علينا ملاحظة أنه بينما نتحدث في حالة البحار والمحيطات عن أعماق لا تصل الى أكثر من مئات قليلة من الأمتار فان حديثنا عن الطاقة الجيوحرارية يعني آلاف الأمتار.

ولكن لو نظرنا الى التدرج الحراري في الأرض في فصل الصيف مثلاً وعلى مسافة عشرات الأمتار فسوف نصل الى صورة مشابهة لما نراه في

البحار والمحيطات، والسبب في ذلك يعود الى أن الطبقة الأرضية التي لا يتجاوز سمكها سوى عشرات الأمتار تتعرض الى ذات المصدر الحراري الذي يؤثر على البحار وهو الطاقة الشمسية، فلو نظرنا الى التدرج الحراري في بلد مثل الكويت في فصل الصيف على عمق عشرات الأمتار لوجدنا أن درجة الحرارة تنخفض مع ازدياد العمق، أما اذا أخذنا القاعدة القياسية على أساس أعماق آلاف الأمتار فسنجد أن الصورة تختلف وأن درجة الحرارة تزداد، وقد أدرك الانسان في منطقة المشرق العربي حقيقة أن درجة حرارة الأرض على اعماق أمتار قليلة أبرد نسبياً منها على السطح، واستفاد من هذه الحقيقة في انشاء السراديب في البيوت لاستعمالها في الصيف حين تكون الظروف داخل البيوت المبنية فوق سطح الأرض حارة وغير مريحة للسكن فيها.

من الجانب الآخر لو نظرنا الى ما يحصل في شمال العالم في فصل الشتاء لوجدنا أن سطوح البحيرات والأنهار وبعض البحار تتجمد بفعل البرد الشديد بينما لا تتجمد المياه في الأعماق، هنا نواجه حالة مختلفة تتميز بوجود درجة حرارة منخفضة على السطح بينما تكون درجة الحرارة في الأعماق أعلى نسبياً، عليه نستطيع أن نرى أن ما يحدد درجة الحرارة على السطح هو طبيعة الظروف المناخية السائدة في المنطقة التي هي قيد الدراسة، بينما تنحو درجة الحرارة في الأعماق الى أن تبقى شبه ثابتة على مدار العام، والسبب في ذلك يعود الى طبيعة انتقال الحرارة في المواد المختلفة والى الخصائص الحرارية لهذه المواد.

ولكي نعود مرة أخرى الى موضوعنا نقول إن اهتمامنا يتركز على تلك المناطق البحرية التي يتوفر فيها تدرج حراري يكون فارق درجات الحرارة فيه بين مياه السطح والمياه على عمق مئات الأمتار في حدود ١٥ درجة مئوية فأكثر، واذا كنا نتكلم عن أعماق مئات الأمتار فاننا نقصد بذلك أن التكنولوجيا المتوفرة حاليا يمكنها استغلال مصدر الطاقة هذا حتى ولو

كانت المياه الباردة على مثل هذه الأعماق، وسنتكلم في الصفحات القادمة عن الجوانب العملية لاستغلال هذا المصدر.

خلفية تاريخية : .

الطاقة الحرارية في البحار والمحيطات غير مستغلة للآن رغم تأكيدات العلماء والمختصين أنه لا توجد مشكلات تكنولوجية أو علمية تعترض سبيل استغلال مصدر الطاقة هذا، وقد يكون العائق أمام استغلال هذا المصدر من الطاقة هو المبلغ الكبير من الاستثمارات المطلوبة لانشاء محطة كهربائية واحدة تعمل على مصدر الطاقة الحرارية في البحار، ويتفق معظم المختصين والعاملين في هذا المجال على أن انشاء محطة تجريبية سيكلف مئات الملايين من الدنانير وبخاصة اذا كانت قدرة مثل هذه المحطة حوالي ١٠٠ ميغا واط، ويبدو أن تكاليف انشاء محطات كهربائية تعمل على مصدر الطاقة هذا سيكلف ضعف تكلفة انشاء محطة تعمل بالطاقة النووية وبذات قدرة الانتاج.

كما يبدو أن هذه التكاليف العالية هي السبب في تردد الحكومات والشركات الخاصة في الاقدام على مثل هذه المشاريع لأن فكرة الاستفادة من فوارق الحرارة في البحار والمحيطات ليست بالأمر الجديد بل يبلغ عمرها حوالي قرن كامل من الزمان. ففي عام ١٨٨١ نشر العالم الفرنسي جاك دارسونفال آراءه وأفكاره عن امكان انشاء محطات بخارية تعمل على الفوارق في درجات الحرارة في البحار، الا أن أفكار دارسونفال لم توضع موضع التطبيق لمدة تقرب من نصف قرن، أي حتى نهاية العشرينات من هذا القرن، ففي الفترة ١٩٢٩ ــ ١٩٣٠ قام المهندس الفرنسي جورج كلود بتركيب محطة تعمل حسب أفكار دارسونفال في خليج ماتنزاس في كوبا(١)، وقام كلود بتركيب المحطة على اليابسة وكانت تتغذى بالمياه

(١) Hagen, A.W. Thermal Energy From The Sea Noyes Data Corporation London, 1975, P.3.

المطلوبة عبر أنابيب تمتد من البحر الى المحطة ، وكانت قوة المحطة ٢٢ ميغا واط وتعمل على فرق في درجة الحرارة بين مياه السطح ومياه الأعماق مقداره ٢٦ درجة فهرنهايت ، اذ كانت درجة حرارة المياه الساخنة ٨١ درجة فهرنهايت والمياه الباردة على عمق ٧٠٠ متر ٥٥ درجة فهرنهايت. وقد قام كلود بنقل المياه عبر أنبوب قطره ١٦٠ سم وطوله كيلومتران. واشتغلت المحطة المذكورة خلال الفترة ١٩٢٩ ـــ ١٩٣٠ ثم توقفت بسبب المشكلات التي واجهها كلود، والواقع أن مشكلات كلود كانت علمية ومحكومة بالمستوى التكنولوجي السائد في تلك الفترة ولكن المعارف والعلوم البشرية تطورت كثير من أيام تجربة كلود الى يومنا هذا مما أصبح معه بالامكان التغلب على المشكلات التي واجهت كلود، وقد تركزت مشكلات كلود في مشكلات التآكل والصدأ الناتجة عن ملوحة مياه البحر، وكذلك واجهته مشكلات توفر مواد ذات خصائص ملائمة وفعالة لانتقال الحرارة، وقد أمكن التغلب على الكثير من مثل هذه المشكلات العلمية في وقتنا الحاضر الى درجة أن الجهات ذات الاختصاص العلمي تتكلم بثقة في هذا المجال، وقد عبر أحد العاملين في هذا المجال عن ثقته بامكان استغلال مصدر الطاقة هذا بقوله «إن القضية أن نبدأ العمل» (٢).

وفي أوائل الخمسينات من هذا القرن دخلت شركة فرنسية مجال استغلال الطاقة الحرارية في البحار والمحيطات، وقد اختارت الشركة موقعا في أبيدجان في ساحل العاج لانشاء محطة كهربائية تعمل على البخار(٣)، وكان من المقرر لهذه المحطة أن تعمل على فارق درجات حرارة مقداره ٢٠ درجة مئوية، وكان سيتم ضخ المياه الباردة من عمق ٤٣٠ مترا في انبوب قطره متران وطوله ٤ كيلومترات، كذلك قامت الشركة نفسها

(٢) Herman, S.W, "**Energy Futures**", Ballinger Publishing Co, Cambridge, Mass, U.S.A, 1977, P. 152.

(٣) Hagen, op. Cit p2.

بتصميم محطة أخرى لانشائها في لاغو يلوب، غير أن أيا من المشروعين لم يدخل حيز التطبيق بسبب الظروف التي سادت العالم في الخمسينات والستينات والتي تميزت بتوفر مصادر الطاقة النفطية بشكل رخيص ومنافس في ذلك الوقت على الأقل لمصادر الطاقة الأخرى، و بذا تكون المحاولتان الفرنسيتان قد فشلتا، الأولى بسبب النقص في الخلفية التكنولوجية، والثانية بسبب الظروف السائدة في عالم الخمسينات.

وفي أواسط الستينات بدأ الاهتمام مرة أخرى يتجه نحو مصادر الطاقة الحرارية في البحار والمحيطات، فقد اقترح المهندس الأمر يكي هيلبرت اندرسون استغلال مصدر الطاقة هذا بواسطة استعمال محطات تعمل على غازات عضوية بدل البخار(٤)، ومن خصائص هذه الغازات أنها تتبخر على درجات حرارة منخفضة بحيث يمكن استعمالها في تشغيل تور بينات تربط بمولدات كهربائية، وفي أوائل السبعينات انتقل الاهتمام بمصدر الطاقة هذا الى الجامعات الأمر يكية التي أخذت تدرس امكان استعمال الغازات العضو ية بدل البخار في المحطات وقاد البروفسور وليام هور ينموس من جامعة ماساشوستس فر يقا من الباحثين لدراسة امكان استغلال التدرج الحراري في البحار في تشغيل محطة تعمل على غاز البرو بين (٥)، وتقوم الفكرة على تبخير هذا الغاز في مبخر يستمد حرارته من المياه ذات درجة الحرارة العالية نسبيا والموجودة على سطح البحر، ليستعمل هذا الغاز بعد ذلك في تشغيل تور بين مر بوط بمولد كهربائي، أما الغاز الخارج من التور بين فيتم تكثيفه في مكثف يستعمل المياه الباردة من الأعماق. بعد ذلك تقوم مضخة بضخ غاز البرو بين المكثف الى المبخر مرة أخرى وهكذا، و يدعي نظام التشغيل هذا بالدورة المقفلة حيث إن الغاز المستعمل يتم تدو يره في أجزاء المحطة المختلفة بشكل دائم فهو ينتقل من المبخر الى

(٤) Herman, S.W. op. cit. P. 150.

(٥) المصدر السابق، ص ١٥٠

التوربين الى المكثف فالمبخر، وهكذا تستمر الدورة. وهذه الفكرة تختلف عن الأفكار التي استعملها العلماء الفرنسيون في محاولاتهم السابقة فقد اعتمد هؤلاء على تبخير الماء تحت ضغوط منخفضة أقل من الضغط الجوي، فالمعلوم أنه حين يقل الضغط على سطح الماء فان درجة حرارة تبخره تقل أيضا، وكان بخار الماء الناتج يستعمل في تشغيل توربين ثم يتم تكثيفه في مكثف ويقذف به الى خارج المكثف. وحيث إن خطوات هذه الدورة تسير في اتجاه واحد فهي تعرف باسم الدورة المفتوحة.

ثم ظهر فريق آخر من العاملين في استغلال الطاقة الحرارية في البحار والمحيطات في جامعة ميلون ــ كارنيجي بقيادة البروفسور زينير(٦)، وتقوم فكرة جامعة ميلون ــ كارنيجي على استعمال الدورة المغلقة أيضا واستعمال الأمونيا بدل البروبين في تشغيل التوربينات، وفي كلتا الفكرتين الأمريكيتين اقترح انشاء محطة التوليد في عرض البحر بدل انشائها على الشاطىء كما فعل الفرنسيون، إن هذا العمل يقلل بالتأكيد من تكاليف مد خطوط المياه الطويلة الحاملة للماء البارد من قعر البحر الى الشاطىء، ولكنه من جانب آخر يطرح مشكلات نقل الكهرباء المتولدة من عرض البحر الى الشاطىء، لذا تقترح فكرة جامعة ميلون ــ كارنيجي أن تستخدم الطاقة المتولدة من التوربين في القيام بالتحليل الكهربائي للماء وانتاج الهيدروجين الذي ينقل من ثم الى الشاطى اما بواسطة أنابيب أو بواسطة سفن خاصة.

في عام ١٩٧٤ عهدت مؤسسة العلوم القومية في أمريكا الى شركتين أمريكيتين دراسة الجوانب العملية لاستغلال الطاقة الحرارية في البحار والمحيطات. وكانت نتيجة أبحاث الشركتين أنه لا توجد أية عوائق فنية أمام بناء محطات تجريبية لاستغلال هذا المصدر من الطاقة. غير أن تكاليف انشاء مثل هذه المحطات سيكلف مئات ملايين الدولارات، اذ أن معدل

(٦) المصدر السابق، ص ١٥٠

تكلفة المحطة تصل الى أكثر من الفي دولار للكيلو واط الواحد، وعليه فان انشاء محطة تجريبية قدرتها ١٠٠ ميغاواط (١٠٠ الف كيلو واط) ستكلف أكثر من ٢٠٠ مليون دولار، والى الآن لم يتم انشاء أية محطة تجريبية غير أن من المتوقع أن يتم ذلك في خلال السنوات العشر القادمة (٧).

اختيار المواقع الملائمة :ـ

يتطلب استغلال أي مصدر من مصادر الطاقة توفر مجموعة من الشروط تجعل من مثل هذا الاستغلال أمرا ممكنا من الناحية العلمية والعملية، فقد توجد هناك بعض المصادر التي لا تتوفر التكنولوجيا الملائمة لاستغلالها، فلو افترضنا مثلا أن هناك مصادر نفطية على أعماق عشرات آلاف الأمتار تحت سطح الأرض فان المعطيات التكنولوجية المتوفرة حاليا تجعل من استغلال مثل هذا المصدر أمرا شبه مستحيل في الوقت الحاضر، ثم هناك مجموعة العوامل الاقتصادية التي تتطلب قبل كل شيء امكان استغلال مصدر الطاقة بتكلفة معقولة تحددها في العادة مجموعة من المتغيرات الاقتصادية كالأسعار وكمية الطلب ومنافسة المصادر الأخرى، وهناك أيضا العوامل البيئية التي بدأت تفرض نفسها بشكل واضح بعد ازدياد وعي الانسان بالأخطار الجسيمة الكامنة في الاستغلال اللاعقلاني لمصادر الطاقة، والطاقة الحرارية في البحار والمحيطات لا تختلف عن غيرها من مصادر الطاقة حيث إن لها مشكلاتها الخاصة وان استغلالها مرتبط بتوفر مجموعة من الشروط الملائمة.

ان الشرط الأساسي والضروري لتوفر امكان استغلال الطاقة الحرارية في البحار والمحيطات هو توفر فارق في درجة الحرارة بين مياه السطح ومياه الأعماق بحيث لا يقل هذا الفرق عن ١٥ درجة مئوية في العادة، والسبب

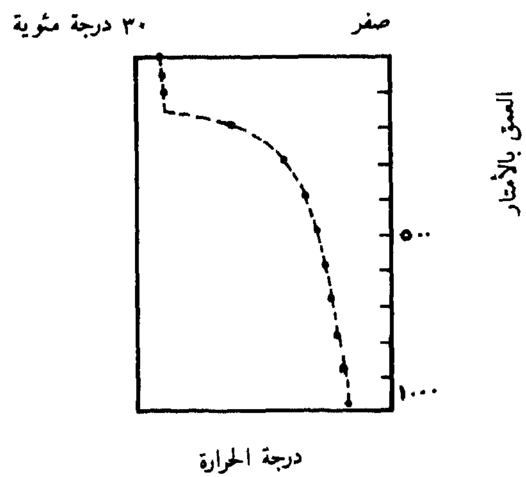
---

(٧) المصدر السابق، ص ١٥٠

في ذلك هو حقيقة أن كفاءة المحطات التي تعمل على فروق درجات حرارة المياه تكون في العادة منخفضة جدا ولا تزيد عن أكثر من ٢-٣٪ مقارنة بكفاءة في حدود ٣٠٪ للمحطات التي تعمل على الفحم والبترول، والواضح أن عنصر الطاقة في البحار والمحيطات عنصر مجاني بمعنى أن صاحب المحطة لا يدفع ثمنه، كما هو الحال مع الفحم والبترول، وعليه، فان الكفاءة المنخفضة جدا للمحطات العاملة على مصدر الطاقة الحراري في البحار لا تشكل عائقا أمام استثماره بشرط توفر فارق معتدل في درجات الحرارة، ويمكن القول بشكل عام ودون تخصيص إن أكثر الأماكن ملاءمة لانشاء مثل هذه المحطات هي المناطق البحرية بين المدارين، أي تلك المنطقة الواقعة بين خطوط العرض ٢٣,٥° شمال خط الاستواء و٢٣,٥° جنوبه، فكمية الاشعاع الشمسي الساقطة في هذه المنطقة تكون في العادة أعلى منها في المناطق الواقعة على خطوط العرض الأخرى الأكثر بعدا عن خط الاستواء ثم إن هذه المناطق بسبب بعدها عن القطبين الشمالي والجنوبي تكون على الأغلب أقل تأثرا بالبرودة الشديدة السائدة في القطبين مما يسمح بامكانية تواجد فارق حراري بين السطح والأعماق يجعل من الممكن تشغيل المحطة على مدار السنة.

ولو نظرنا الى التدرج الحراري من السطح الى الأعماق في البحار المدارية لوجدنا الصورة التالية: تكون درجة الحرارة على السطح في حدود ٢٥-٢٧ درجة مئوية وتبقى ضمن هذه الحدود في طبقة مائية سمكها من ٥٠-١٠٠ متر. ثم تأخذ درجة الحرارة بالانخفاض السريع لتصل الى حوالي ١٠ درجات مئوية على عمق ٢٠٠ متر ويعرف هذا الانخفاض السريع في درجة الحرارة باسم «الانحدار الحراري»، بعد ذلك تأخذ درجة الحرارة بالانخفاض بمعدل بطيء فتصل الى ٧ درجات مئوية على عمق ٧٠٠ متر، والى ٥ درجات مئوية على عمق ألف متر تقريبا، ولا تنخفض درجة الحرارة في مثل هذه المناطق حتى على أعماق أكبر عن ٤ درجات مئوية،

علـى أن نموذج التدرج الحراري هذا لا يأخذ في الاعتبار وجود أية مصادر حـرار يـة في قعر البحر مثل مصادر الطاقة الجيوحرار ية، فالمعروف أن هناك مـنـاطـق فـي قـعـر الـبـحـار والمحيطات مازالت نشيطة بركانيا، و ينطلق من التشققات في قعر البحر كميات كبيرة من الحرارة قد تؤدي الى رفع درجة حـرارة المـيـاه موضـعيا وتغير من الصورة التي أوضحنا فيا سبق. إن التدرج الـذي نـتـكـلـم عـنـه هـنا هو ذلك الموجود في غياب وجود تأثيرات المصادر الحرار ية الأخرى، و يعطي **الشكل رقم (١)** صورة عن هذا التدرج.



شكل ١ ـ التدرج الحراري في البحار والمحيطات

اذا تـوفـر وجـود الـتـدرج الحـراري المـلائم فـي منطقة ما تأتي بعد ذلك مسألة اختيار موقع المحطة نفسها، فالمحطة اما أن يتم انشاؤها على اليابسة أو علـى منصة في عرض البحر. ففي الحالة الأولى يكون المطلوب ضخ المياه الـسـاخـنـة والـبـاردة مـن الـبـحـر الـى المحـطـة عبر أنابيب تمتد الى مسافة

كيلومترات عديدة، وحيث إن المحطات تتطلب كميات كبيرة جدا نظرا للانخفاض النسبي لدرجات الحرارة وللانخفاض النسبي في فوارق درجات الحرارة فان أحجام أنابيب ضخ المياه تكون في العادة كبيرة، لذا حتى اذا توفر فارق درجات الحرارة على مسافات بعيدة في عرض البحر فقد يصبح من غير المقبول علميا وعمليا واقتصاديا انشاء محطات للطاقة على اليابسة، ومن الضروري أن تكون منطقة اليابسة ـ حيث تبنى المحطة ـ من المناطق التي يسهل الوصول اليها وغير وعرة، لأن وجود محطة طاقة يتطلب نقل الكثير من التجهيزات والعدد والأدوات والمكائن والعاملين في المحطة أنفسهم واحتياجاتهم اليومية من غذاء وما شابه، بالاضافة الى ذلك، يفضل أن تنشأ المحطة في مناطق قريبة من أسواق استهلاك الطاقة مثل المناطق الصناعية أو المدن والتجمعات السكنية الأخرى. ولكن من المحتمل أن تعمل هذه المحطات ـ فيما لو كانت قريبة من المناطق الريفية ـ على تزويد هذه المناطق بحاجتها من الطاقة الكهربائية وبخاصة اذا كان من الصعب ايصال الكهرباء لهذه المناطق من الشبكة الكهربائية العامة، إن توفر اسواق الاستهلاك أمر ضروري اذ لا حاجة للاستثمار في مشاريع تنتج سلعا لا يتوفر لها مستهلكون.

أما في الحالة الثانية حيث يتم انشاء المحطة في عرض البحر فان الوضع يختلف، فلا حاجة هنا الى مد أنابيب طويلة لنقل المياه مثلا، ولكن يكون من الضروري هنا انشاء منصة قوية وكبيرة قادرة على تحمل الوزن الكبير للمحطة، ورغم أن انشاء هذه المنصات كانت تعترضه بعض الصعوبات في الماضي الا أن تطور تكنولوجيا التنقيب عن البترول في البحار شديدة العواصف والأمواج مثل بحر الشمال قد جعل الأمر في متناول القدرات التكنولوجية السائدة في عالم اليوم، وقد يكون من المطلوب ضرورة تطوير تصاميم هذه المنصات بشكل اكثر ملاءمة لأغراض استغلال مصادر البحار الحرارية، لكن العلماء والمختصين في هذا المجال لا يجدون أية

صعوبات تكنولوجية أمام مثل هذا التطوير، وربما تكمن مشكلتهم الوحيدة في أنه لم يتم انشاء أية محطة عائمة إلى الآن بحيث يستطيعون اجراء الدراسات والقيام بالتحليلات المطلوبة.

إن انشاء محطات عائمة على ظهر منصات في عرض البحر يتطلب القيام بدراسات واسعة ومكثفة لأحوال المناخ وأحوال البحر، فمن الضروري معرفة طبيعة الرياح السائدة وقوتها واتجاهاتها وسرعاتها وتأثيرها على المنصات، ثم من الضروري معرفة طبيعة أمواج البحر وتحركاتها وقوتها ومدى تحمل المنصة في ظل الظروف المختلفة، فكثيرا ما نسمع عن حدوث اعصارات قوية في مختلف مناطق العالم تؤدي الى تهديم البيوت وفيضان مياه البحار على اليابسة، إن المنصة القائمة في عرض البحر لا يحميها من مثل هذه الأمواج الكبيرة أو الأعاصير سوى قدرتها على المقاومة، ولذا لابد من أخذ هذه الأمور بعين الاعتبار في حالة التصميم واختيار المواقع، ثم هناك التيارات البحرية التي تسير بسرعات تصل الى أميال قليلة في بعض الأحيان والتي اذا كان موقع المحطة أو المنصة في مجراها فانها ستعرض المنصة أو المحطة الى قوة مؤثرة بشكل مستمر، ولذا ينبغي أخذ الاحتياطات اللازمة، ولكن من ناحية أخرى فقد تكون مثل هذه التيارات ذات فائدة لعمل المحطة، إذ المعروف أن سرعة انتقال الحرارة من سطح صلب الى سائل مجاور تزداد مع ازدياد سرعة السائل، وهذا يعني أن الحرارة تنتقل عبر سطوح المحطة بمعدل أسرع، مما يساعد في تحسين كفاءة المحطة.

وإذا تم اختيار موقع المحطة على أن يكون في عرض البحر فستظهر مسألة نقل الطاقة من المحطة الى اليابسة لتوزيعها من ثم على مختلف أشكال الاستعمالات، وهناك الآن خياران أمام العلماء لنقل الطاقة من عرض البحر الى اليابسة، الخيار الأول هو انتاج الطاقة الكهربائية في عرض البحر ونقلها بواسطة اسلاك كهربائية تمتد عبر مياه البحر الى اليابسة. ولكن اذا كانت المحطة على مسافة بعيدة عن اليابسة فهذا يعني

تركيب اسلاك وكابلات طويلة مما يزيد التكلفة الاقتصادية أولاً و يؤدي الى فقدان قسم من الطاقة الكهربائية بسبب طول الأسلاك ثانيا، أما الخيار الآخر فهو استعمال الطاقة المتولدة من المحطة في أعمال التحليل الكهربائي للمياه لانتاج الهيدروجين، والهيدروجين كما هو معروف غاز قابل للاشتعال ويمكن استعماله في العديد من الأغراض لتوليد الطاقة، أما بالنسبة لنقل الهيدروجين من المحطة في عرض البحر الى اليابسة فهذا لا يشكل أية مشكلة اذ أن تكنولوجيا نقل الغاز الطبيعي في الأنابيب في عرض البحار متقدمة بما فيه الكفاية لضمان سلامة نقل الهيدروجين، كما أنه من الممكن نقل الهيدروجين بواسطة السفن بذات الشكل الذي يتم به نقل الغاز الطبيعي.

واذا ما أنشئت محطة التوليد في عرض البحر أو في خليج مثلا فيجب الأخذ بعين الاعتبار لخطوط الملاحة الموجودة في المنطقة التي هي قيد الدراسة بحيث لا تعترض المحطة خطوط سير السفن والناقلات الكبيرة.

هناك جانب آخر يتحكم في اختيار موقع المحطة سواء على اليابسة أو في عرض البحر وهو طبيعة نظام انتاج الطاقة المقترح، فهناك محطات تعمل على الدورات المفتوحة والتي يتم فيها ادارة التوربين بواسطة بخار ماء على ضغط قليل، فبعد خروج البخار من التوربين يذهب الى المكثف حيث يتحول الى ماء مرة أخرى، واذا أخذنا بالاعتبار كميات الماء الكبيرة المستعملة في محطات الطاقة هذه نجد أنفسنا أمام مصدر من الماء النقي الذي يمكن استعماله في العديد من الأغراض خاصة وان مناطق كثيرة في العالم تعاني من نقص متزايد في مصادر المياه. إن الاستفادة من هذا الماء النقي سيزيد من محاسن مصدر الطاقة هذا ويجعله موضع اهتمام متزايد.

الجانب الثالث في دراسة ملاءمة المواقع لانشاء محطات الطاقة هو الجانب البيئي. فالبحار مملوءة بأنواع مختلفة من الحيوانات المائية التي تعيش في ظل ظروف خاصة وتتغذى على عناصر معينة في مياه البحار وقد

تأقلمت حياتها على درجات حرارة معينة أيضا. ومما لا شك فيه ان اقامة محطات الطاقة في عرض البحر بخاصة سيعني تدخلا في طريقة حياة هذه الكائنات البحرية، فأجزاء المحطة الرئيسية مثل المبخر والمكثف تكون في العادة كبيرة الحجم مما يعني أنها ستحتل حيزا كبيرا كانت تنعم فيه الكائنات البحرية، ومن جهة أخرى، وحيث إن مياه الأعماق الباردة تستعمل لتبريد المكثف فان هذا يعني احتمال ارتفاع درجة حرارة الأعماق بمقدار بسيط. لكن مثل هذه الجوانب لا تشغل بال المهتمين بالبيئة اذ أنهم يعتقدون أن تحريك المياه داخل البحر سيؤدي الى نقل كميات من مياه الأعماق الى الأعلى، وحيث إن مياه الأعماق تحوى الكثير من المواد الغذائية للأسماك فانهم يتوقعون أن يؤدي هذا الى تنشيط الحياة البحرية بدل تعريضها للأخطار.

اذن فالتفكير في استغلال الطاقة الحرارية في البحار والمحيطات يتطلب دراسات واسعة ومفصلة للبيئة البحرية تغطي الجوانب العديدة من التركيب الطبوغرافي للبحار الى الخصائص الحرارية الموضعية والأحوال المناخية السائدة وطبيعة الأمواج والتيارات البحرية السائدة والجوانب البيئية المختلفة لحياة الكائنات البحرية وطبيعة المتطلبات الاقتصادية في المنطقة المذكورة.

طرق الاستفادة من حرارة البحار والمحيطات :ـ

تتمثل الطرق المطروحة حاليا لاستخدام الطاقة الحرارية في البحار والمحيطات، الناتجة عن فروق درجات الحرارة بين مياه السطح ومياه الأعماق، باستعمال المكائن الحرارية التي تعمل إما على الدورة المفتوحة أو الدورة المقفلة. وهناك تشابه في الخطوط العامة للأنظمة العاملة على أي من الدورات السابقة، فكلها بحاجة الى مبخر، اما لانتاج بخار الماء كما هو الحال في الدورة المفتوحة أو لتبخير الغاز العضوي المستعمل الى ضغوط عالية، ثم هناك الحاجة الى توربين يربط بمولد كهربائي لانتاج

الكهرباء أو الهيدروجين بواسطة التحليل الكهربائي، وقد يعمل التوربين على البخار ذي الضغط المنخفض أو على الغاز ذى الضغط العالي، أما الجزء الثالث الرئيسي فهو المكثف حيث يتحول بخار الماء بعد خروجه من التوربين الى مياه نقية او يتكثف الغاز.

هذه هي اذن الأجزاء الرئيسية الثلاثة التي يتكون منها أي من الأنظمة العاملة على الدورات المفتوحة أو المقفلة، ولكن هناك بعض الأجهزة الأخرى التي تستعمل حسب الخصائص الذاتية لكل نظام، فمثلا تستعمل المضخات في الدورات المفتوحة لضخ المياه من المكثف الى اليابسة حيث يجري استعمالها، وكذلك تستعمل مضخات أخرى للتخلص من الغازات التي لا تتكثف والموجودة في بخار الماء مثل الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون أو أية غازات أخرى قد تكون ذائبة في المياه التي تدخل الى المبخر، كذلك إذا أنشئت المحطة العاملة على الدورة المفتوحة على اليابسة فلابد من استعمال مضخات لضخ كميات المياه المطلوبة للتبخير والتبريد. أما في الدورات المقفلة فهناك المضخات المستعملة لضخ الغاز المتكثف من المكثف الى المبخر، كما قد توجد حاجة الى تركيب مضخات لضخ المياه الباردة من الأعماق الى المكثف.

وقد ذكرنا سابقا أن كفاءة الأنظمة العاملة على المصادر الحرارية في البحار والمحيطات تكون منخفضة جدا ولا تتعدى ٣٪ والسبب في ذلك هو أن كفاءة أي من المكائن الحرارية محكومة بدرجات الحرارة العليا والدنيا التي تعمل بينهما، والكفاءة النظرية للماكينة الحرارية التي تعمل بين مصدرين حراريين على درجات مختلفة هي:

$$\frac{\text{درجة حرارة المصدر الحار} - \text{درجة حرارة المصدر البارد}}{\text{درجة حرارة المصدر الحار}}$$

وتقاس درجات الحرارة في هذه الحالة بالدرجات المطلقة، وفي نظام

درجات الحرارة المئوية تعادل درجة الصفر المئوي ٢٧٣ درجة حرارة مطلقة، وعلى ذلك فاذا افترضنا أن محطة تعمل على الدورة المفتوحة في بحر درجة حرارة مياه السطح فيه ٢٧ درجة مئوية وأنها تتحول في المبخر الى مزيج من الماء والبخار على درجة حرارة ٢٣ مئوية (يبرد الماء في المبخر لأن حرارة التبخير تأتي من المياه ذاتها لا من مصدر خارجي) وان بخار الماء بعد مروره في التوربين يتكثف في المكثف و يتحول الى ماء على درجة حرارة ١٢ مئوية فان الكفاءة النظرية لهذا النظام في هذه الحالة تساوي :

$$\frac{(٢٧٣ + ٢٣) - (٢٧٣ + ١٢)}{(٢٧٣ + ٢٣)}$$

$$\text{الكفاءة} = \frac{١١}{٢٩٦}$$

$$= ٣٫٧\%$$

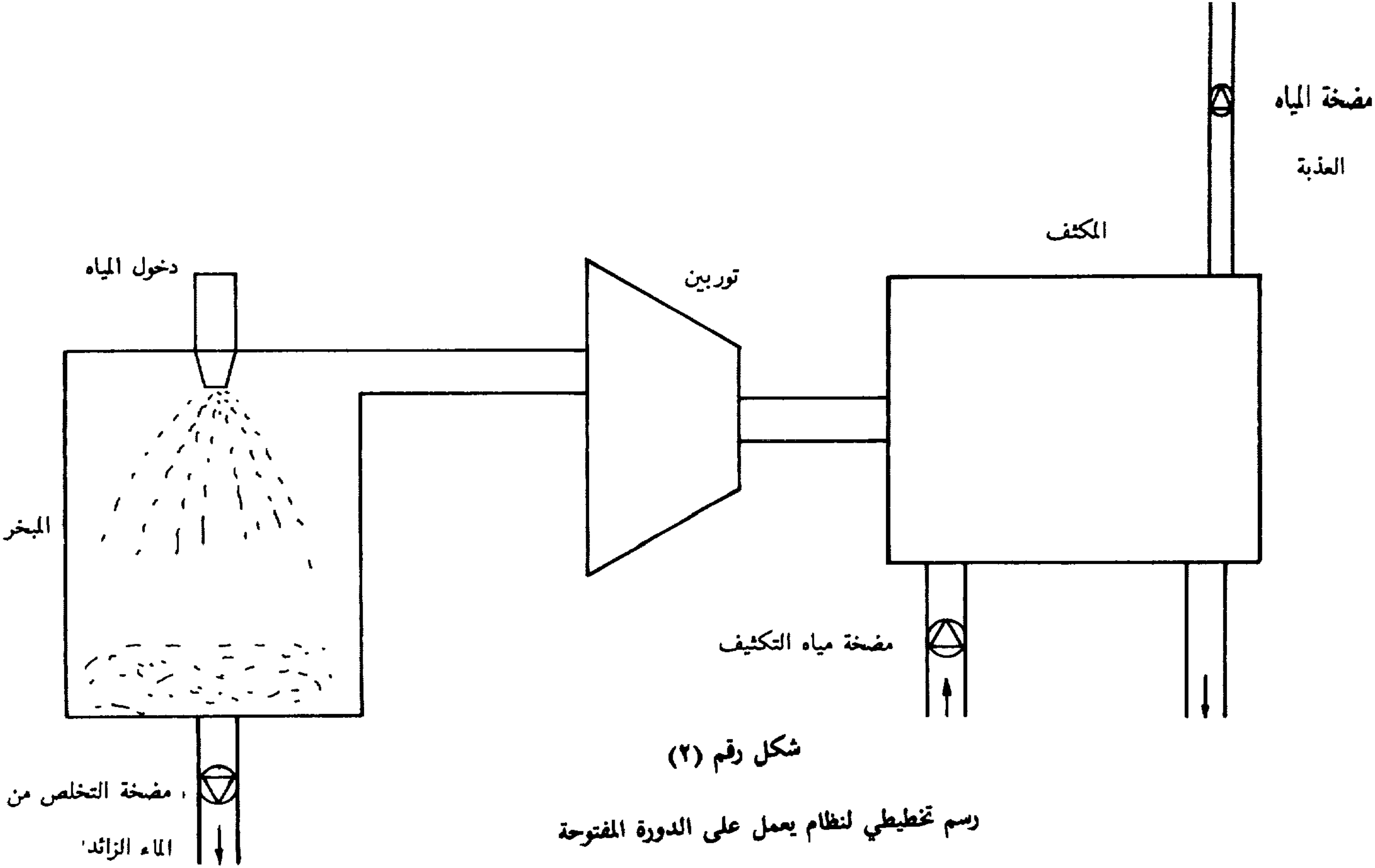
ولا تختلف الكفاءة في أنظمة الدورات المقفلة عنها في الدورات المفتوحة اذ أنها أيضا منخفضة جدا، فالغاز الذي يتبخر في المبخر تكون درجة حرارته أقل من درجة حرارة مياه السطح بسبب أن مياه السطح هي المصدر الحراري الذي يزود الغاز بمتطلباته من الحرارة، ولذلك وحتى يستمر سريان الحرارة من مياه السطح الى الغاز في المبخر فلابد من وجود فارق حراري بسيط، فلو كانت درجة حرارة مياه السطح ٢٧ درجة مئوية ودرجة حرارة مياه الأعماق ٨ درجات مئوية، فاننا نتوقع مثلا أن تكون درجة حرارة الغاز في المبخر ٢٣ درجة مئوية وفي المكثف ١٢ درجة مئوية، وفي هذه الحالة تكون كفاءة المحطة ٣٫٧٪ أيضا، أي مساوية لكفاءة المحطة العاملة على الدورة المفتوحة.

ولا يمكن بالطبع الحصول على الكفاءة القصوى أو النظرية في أي نظام اذ توجد هناك بعض الخسائر الناتجة عن استعمال المضخات لضخ المياه أو الغاز والتي تقلل في هذه الحالة من كفاءة المحطات، وبشكل عام فان الكفاءة العملية لأي نظام يعمل على فروق درجات حرارة مياه البحار والمحيطات تكون في حدود ٢ ـ ٣٪.

والآن لننظر ببعض التفصيل الى الأنظمة العاملة على كل من الدورات المفتوحة والمقفلة.

١ـ الدورات المفتوحة:

تقوم فكرة الدورة المفتوحة على انتاج بخار ماء تحت ضغوط منخفضة، فالمعلوم أن درجة غليان الماء تنخفض مع انخفاض الضغط الواقع على الماء، ان درجة غليان الماء تحت الضغط الجوي هي ٢١٢ درجة فهرنهايت (١٠٠ درجة مئوية) ويساوي الضغط الجوي ١٤٫٧ رطلاً على البوصة المربعة، أما اذا انخفض الضغط الواقع على الماء الى ٠٫٥ رطل على البوصة المربعة فان درجة غليان الماء تنخفض الى ٨٠ درجة فهرنهايت (٢٦٫٧ درجة مئوية)، وتستفيد أنظمة الدورات المفتوحة من هذه الفكرة اذ يتم ادخال المياه من البحر الى المبخر الذي يكون الضغط بداخله منخفضا وحال دخول الماء الى المبخر يأخذ الماء بالغليان بسبب انخفاض الضغط ويستمر الماء بالتبخر حتى يصل البخار الى حالة التشبع واذا لم يتم التخلص من هذا البخار فلن يحدث أي تبخير أكثر من ذلك، ولذا وحتى يستمر التبخير فلابد من التخلص من البخار بشكل مستمر، ويتم هذا اما بارسال البخار الى أحد التوربينات لادارتها وتشغيلها أو قد يؤخذ مباشرة الى المكثف حيث يتكثف ويتحول الى ماء نقي. واذا استعمل البخار في ادارة أحد التوربينات فانه يفقد جزءا من طاقته لكنه يبقى في الحالة البخارية ولابد من تكثيفه أيضا، ويوضح الشكل رقم (٢) مخططا هيكليا للدورة المفتوحة.



شكل رقم (٢)

رسم تخطيطي لنظام يعمل على الدورة المفتوحة

من الجانب الآخر هناك حقيقة أنه حين ينخفض الضغط على أي غاز فانه يتمدد و يزداد حجمه، لذلك فان حجم الباوند الواحد من الماء (٤٥٤غم) على درجة حرارة ٨٠ فهرنهايت يساوي ٠١٦ر٠ قدم مكعب، لكن حجم بخار الماء على ذات درجة الحرارة وعلى ضغط ٥ر٠ رطل على البوصة المربعة يساوي ٦٣٣ قدماً مكعباً. ان هذا يعني أن على التوربين أن يتعامل مع أحجام كبيرة جدا من بخار الماء، و يتطلب هذا الأمر أن يكون حجم التوربين كبيراً جداً، وربما كان هذا الجانب هو الجانب السلبي الوحيد ذا الأهمية في أنظمة الدورة المفتوحة. ويمكن اللجوء الى استعمال مجموعة توربينات ذات أحجام معتدلة بدل استعمال توربين واحد يكون حجمه ضخما، وحيث إن بخار الماء المستعمل يكون على ضغوط منخفضة فان هذا يسمح بصناعة التوربينات من المواد الخفيفة القادرة على العمل في ظل الضغوط المنخفضة، وهذا يؤدي الى تقليل كلفة الانتاج.

إن نظام الدورات المفتوحة يسمح بانتاج المياه النقية من خلال تكثيف البخار في المكثف. ولا يتوفر مثل هذا الأمر في الدورات المغلقة التي تستعمل الغازات العضوية. والواقع أن العالم يواجه نقصا في مصادر المياه الصالحة للاستعمال بسبب الزيادة في السكان والتوسع في الصناعة والزراعة. و يستهلك العالم بالتأكيد كميات كبيرة من مصادر الطاقة الحالية لتحلية مياه البحر وانتاج المياه العذبة. ولذلك فان أنظمة الدورات المفتوحة ملائمة لتلك المناطق الواقعة على البحار والمحيطات العميقة والتي تعاني من نقص في مصادر المياه العذبة.

٢ــ الدورات المقفلة:

تسمى هذه الدورات بالمقفلة لأن الغاز المستعمل فيها يمر في المبخر فالتوربين فالمكثف ومرة أخرى الى المبخر وهكذا، وهذا يعني أن الغاز يمر خلال مجموعة من المراحل وتتغير خصائصه من سائل الى بخار الى سائل مرة أخرى وهكذا دواليك، ويختلف هذا عن الدورات المفتوحة حيث إن

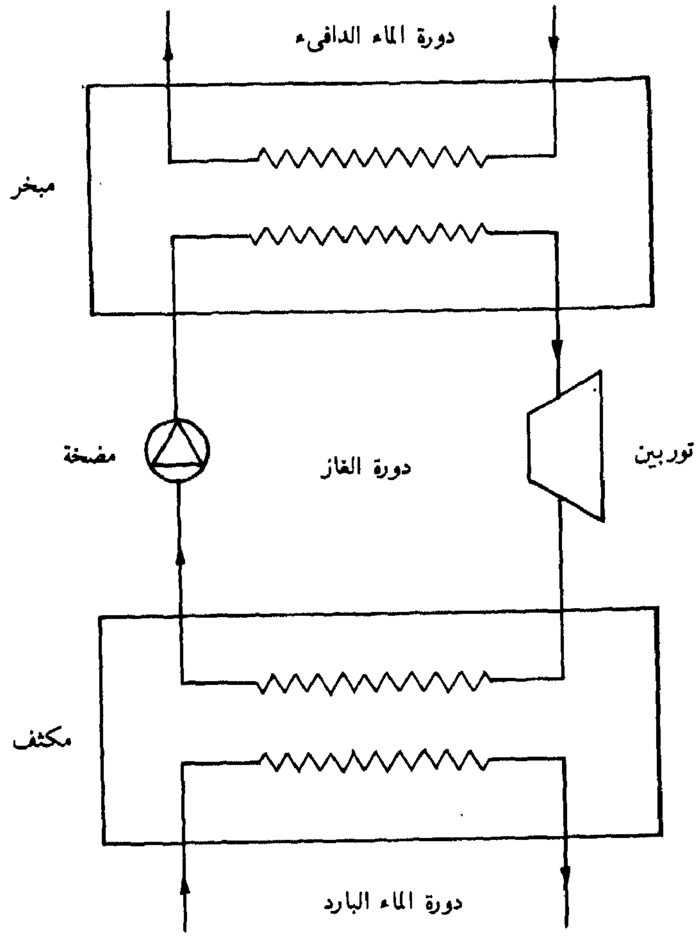
الماء المتبخر لايعاد استعماله مرة أخرى بل هناك جريان مستمر للمياه من البحر الى المبخر.

وتعتمد فكرة الدورات المقفلة على استعمال الغازات التي تتبخر ويرتفع ضغطها على درجات الحرارة المنخفضة، فلو أخذنا الأمونيا مثلا نجد أن ضغطها على ٧٠ درجة فهرنهايت يساوي ١٢٨,٨ رطل على البوصة المربعة، ويكون حجم الباوند الواحد من الأمونيا في هذه الحالة ٢,٣ قدم مكعب، بالمقارنة فان حجم الباوند الواحد من بخار الماء على ٧٠ درجة فهرنهايت ولكن على ضغط ٠,٣٦ رطل على البوصة المربعة (درجة غليان الماء على هذا الضغط) يساوي ٨٦٨ قدماً مكعباً. من الواضح أن حجم التوربين المطلوب في حالة الأمونيا سيكون أصغر بكثير منه في حالة بخار الماء بسبب الفارق في الأحجام.

ويستعمل الغاز المتبخر على هذا الضغط العالي في تشغيل التوربين، وعند خروجه من التوربين يكون قد فقد جزءاً من طاقته وينخفض ضغطه ودرجة حرارته، بعد ذلك يرسل الغاز الى المكثف ومن ثم الى المبخر مرة أخرى وهكذا. **وفي الشكل (٣)** رسم تخطيطي لنظام يعمل على الدورة المقفلة.

إن إحدى المشكلات الرئيسية في أنظمة الدورات المقفلة تكمن في المبادلات الحرارية (المبخر والمكثف) وذلك لأن أحجامها المطلوبة كبيرة جدا، ولو قمنا بعملية حسابية لحجم واحد من المبادلات الحرارية لمحطة قوتها ٢٥ ميغاواط وتعمل على كفاءة مقدارها ٢,٥٪، ولو فرضنا بعض القيم العملية للفروق في درجات الحرارة بين الماء والغاز في المبادل الحراري وكذلك لمعامل انتقال الحرارة لوجدنا أن مساحة السطح المطلوب حوالي مائة الف متر مربع، إن هذه المساحة أكبر من مساحة أي مبادل حراري تمت صناعته الى الآن (٨).

٨ — Denton, J.C. and Afgan, N., **Future Energy Production Systems** vol. II, Academic Press, London, England, 1976, P.702.



شكل رقم (٣)

رسم تخطيطي لنظام يعمل على الدورة المغلقة

المشكلة الأخرى هنا هي تلك الناتجة عن وجود هذه المبادلات في البحر، اذ بالاضافة الى تأثير أملاح البحر على المعادن المصنوعة منها هذه المبادلات فان هناك أيضا تأثير الكائنات البحرية التي تنمو على أي سطح موجود في مياه البحر، اذ من المتوقع أن تنمو الكثير من الكائنات البحرية على سطح المبادلات الحرارية وتكوّن طبقات تعزل سطح المبادل عن مياه البحر، ولا يعرف إلى الآن مدى تأثير وجود هذه الكائنات على سطح المبادلات الحرارية على معدلات انتقال الحرارة بين المبادلات الحرارية والماء، فاذا نتج مثلا تقليل معدلات انتقال الحرارة فان هذا سيؤثر بدوره على كفاءة المحطة و يؤدي الى تقليل كمية الطاقة المنتجة، وعليه فمازال مطلوبا الحصول على معلومات أكثر عن تأثير نمو هذه الكائنات البحرية على سطوح المبادلات الحرارية من أجل العمل على تلافي آثارها السلبية المحتملة (٩) إن أحد الحلول المطروحة هو أن تتحرك المنصة في عرض البحر لتقليل امكانية نمو الكائنات البحرية وتراكمها على المبادلات الحرارية ولمنع ارتفاع درجة حرارة المياه المحيطة بالمبادلات وهو أمر يؤدي الى انخفاض كفاءة عمل المحطة.

الطاقة الحرارية في الخليج العربي:

تبلغ مساحة الخليج حوالي ٢٤٠ الف كيلومتر مربع، و يبلغ طوله حوالي الف كيلومتر أما عرضه فيتغير من ٥٦ ــ ٣٤٠ كيلومتر، في هذه المساحة الواسعة لا يوجد أكثر من ٦ آلاف كيلومتر مكعب من المياه، وبعملية حسابية بسيطة نكتشف أن معدل عمق الخليج حوالي ٢٥ متراً فقط، لكن في بعض المناطق خاصة في وسط الخليج وجنوبه يصل العمق الى حوالي ٥٠ متراً أو أكثر، وتدخل الخليج كميات من المياه العذبة من شط العرب ونهر قارون و يتصل في جزئه الجنوبي مع المحيط الهندي.

٩ــ Dentan, J.C. & Afgan, N. op, cit, 702.

يقع الخليج ما بين خطي عرض ٢٤ و٣٠ شمالا وهذا يعني أن كميات الاشعاع الشمسي الساقطة على الخليج كبيرة، غير أن ضحالة مياه الخليج النسبية لاتسمح بوجود فوارق حرارية كبيرة بين مياه السطح ومياه الأعماق.

وقد جرت عدة بحوث على مياه الخليج لدراسة الجوانب المختلفة من درجات الحرارة والملوحة والتركيب الجيولوجي والكائنات البحرية الموجودة في الخليج، ففي دراسة «ايمرى» ورد أن أعلى درجة حرارة لمياه الخليج سجلها كانت في شهر آب عام ١٩٤٨ حيث بلغت ٣٢٫٢ درجة مئوية قريبا من شواطىء الكويت، و٣٣٫٤ درجة مئوية في خليج البحرين، و٣٢٫٣ درجة مئوية عند مضيق هرمز، أما بالنسبة للتوزيع العمودي لدرجات الحرارة فقد كان الفارق بين درجة حرارة مياه السطح والمياه على عمق ٥٠ متراً عند مضيق هرمز ١٠ درجات مئوية وهو من أعلى الفروق الممكنة في الخليج، أما في المناطق الأخرى فقد كانت أقل من ذلك (١٠).

ان هذا التوزيع الحراري في مياه الخليج يجعل من الصعب امكان استغلال مياه الخليج لتوليد الطاقة اذ أن أفضل الأماكن في الخليج لا يتوفر فيها فارق في درجات الحرارة أكثر من ١٠ درجات مئوية.

في عام ١٩٧١ نشر الياباني اينوموتو(١١) نتائج قياسات درجات الحرارة في الخليج عند شواطىء الكويت، وغطت هذه النتائج قياسات درجات الحرارة لمدة سنة تقريبا من كانون أول ١٩٦٩ الى تشرين اول ١٩٧٠، وقد أخذت القياسات على السطح وعلى عمق يتراوح من ١٠ — ٢٠ متراً، وفي الجدول رقم (١) نقدم النتائج التي حصل عليها اينوموتو.

---

١٠ — Emery, E.O., **Bulletin of American Association of Petro, Geol.** 1956.

١١ — Enomoto, Y., **Bulletin Tokai Regional Fish Res. Lab., TOKYO, Japan,** 1971.

ويرجع السبب في الفروقات البسيطة في درجات الحرارة الى أن القياسات أخذت من أكثر من محطة وفي أكثر من موقع، لكن مع ذلك فإننا نخرج بصورة عامة من هذه المعلومات وهي أن أعلى درجة حرارة لمياه الخليج قرب شواطىء الكويت تتوفر في شهري تموز وآب (يوليو وأغسطس) حيث تصل الى ٣٠ ــ ٣١ درجة مئوية، بينما تنخفض في شهري كانون الثاني وشباط (يناير وفبراير) الى ١٥٫٥ ــ ١٨٫٨ درجة مئوية، أما الفارق بين درجة حرارة مياه السطح والمياه على عمق ١٠ ــ ٢٠ متراً فهي لاتزيد عن ٣ درجات مئوية كما يبدو من المعلومات السابقة.

وفي عام ١٩٧٤ نشرت نتائج الدراسة التي قام بها فريق من الباحثين اليابانيين من جامعة طوكيو، على ظهر السفينة اوميتاكا ــ مارو، بالتعاون مع معهد الكويت للأبحاث العلمية في شهر ديسمبر(١٢)، وقد دلت نتائج هذه الدراسة على أن درجة حرارة مياه الخليج تصل الى حوالي ٢٧ درجة مئوية بالقرب من مضيق هرمز والى حوالي ٢٠ درجة مئوية بالقرب من شواطىء الكويت، ولم تشر نتائج الدراسة المذكورة الى وجود فوارق تذكر في درجات الحرارة في هذا الشهر بين السطح والأعماق واذا أخذنا نتائج ايمرى بعين الاعتبار والتي تقول بوجود فوارق تصل الى حوالي ١٠ درجات بين مياه السطح والمياه على عمق ٥٠ متراً في شهر آب لوصلنا الى النتيجة التالية وهي: إن هذا الفارق قد لا يوجد الاّ في فصل الصيف فقط.

---

١٢ ــ Transactions of the Tokyo Society of Fisheries, NO. 1, TOKYO JAPAN, 1974.

جدول رقم (١)

الشهر	درجات الحرارة على السطح درجات مئوية	درجة الحرارة على بعد ١٠ــ٢٠ متراً درجات مئوية
كانون أول ١٩٦٩	١٨٫٠ — ٢٠٫٥	—
كانون ثاني ١٩٧٠	١٥٫٥ — ١٦٫٥	—
شباط	١٦٫٠ — ١٨٫٨	١٧٫٠ — ١٨٫٥
آذار	٢٠٫٥ — ٢١٫٣	١٨٫٥ — ١٨٫٧
نيسان	٢٢٫٨ — ٢٥٫٢	٢١٫٥ — ٢٢٫٠
آيار	٢٦٫٥ — ٢٧٫٥	٢٣٫٥ — ٢٥٫٢
حزيران	٢٥٫٨ — ٢٦٫٧	٢٤٫٥ — ٢٦٫٣
تموز	٢٨٫٥ — ٣١٫٠	٢٨٫٠ — ٣٠٫٠
آب	٣٠٫٣ — ٣٠٫٨	٢٨٫٩ — ٣٠٫٠
أيلول	—	—
تشرين أول	٢٦٫٥ — ٢٧٫٢	٢٦٫٥ — ٢٦٫٦

الفصل الرابع

طاقة المد والجزر

المد والجزر ظاهرة يومية تحصل في بحار العالم ومحيطاته، ونحن كأفراد نتأثر بحركة المد والجزر في البحار على مستوى تصرفاتنا الشخصية مثل قضاء بعض الوقت على شاطىء البحر، لكن الأمر لا يتوقف عند هذا الحد أبدا اذ أن المد والجزر يلعبان دورا في تقرير طابع حياة البشر وكسبهم لعيشهم اليومي بل ويفرض على بعضهم ضرورة تكييف أوقات عمله مع دورة المد والجزر اليومية، فالذين اعتادوا السفر في الماضي بين المدن الواقعة على البحر يعرفون تماما كيف أن حركتهم من الموانىء واليها كانت محكومة بأوقات المد والجزر.

لقد تغيرت الصورة حاليا بالنسبة للمسافرين الذين يستعملون الموانىء ذات الأرصفة الحديثة حيث تتوفر السفن بشكل دوري طوال الوقت، لكن أولئك الذين اعتادوا السفر قبل انشاء أرصفة رسو السفن الحديثة يدركون تماما كيف أنه كان عليهم الانتظار ساعات طويلة حتى يرتفع منسوب المياه الى حد يسمح بالملاحة البحرية.

كذلك لم يكن بامكان سفن الصيد أن تبحر في أوقات الجزر لأن انحسار المياه كان يعني أن تقف هذه السفن على اليابسة بدل أن تطفو على سطح الماء، وكان لابد للصيادين من انتظار حركة المد ليرتفع منسوب المياه وتطفو سفنهم ليستطيعوا الابحار بعد ذلك. ونشك في أنه كان باستطاعة الصيادين أن يعودوا الى اليابسة أثناء الجزر لأن هذا كان يتطلب منهم ترك سفنهم في عرض البحر والسير مسافة طويلة حاملين صيدهم.

من هنا نرى أن حركة المد والجزر أثرت ومازالت تؤثر في حياتنا كأفراد وان هناك احتمالاً بأن تؤثر في حياتنا بشكل أكبر في المستقبل خاصة اذا تطورت الأبحاث الحالية في مجال استخدام حركة المد والجزر هذه في انتاج الطاقة الكهربائية، وقد استطاع الانسان أن يقلل من الآثار السلبية لحركة المد والجزر هذه من خلال بناء الموانىء العميقة التي تسمح بحركة الملاحة طول الوقت دون اعتبار للمد والجزر وتسمح لأساطيل صيد السمك بالمغادرة والعودة متى أرادت ــ ضمن المعطيات المناخية الملائمة طبعاً ــ، لكن طموح الانسان لم يتوقف يوما بل إنه يزداد ويحاول الاستفادة من كل المعطيات الطبيعية بما فيها حركة المد والجزر.

وتتركز الجهود الحالية في مجال استغلال حركة المد والجزر على استغلال هذه الحركة لانتاج الكهرباء، وتقوم الفكرة على أن منسوب المياه يرتفع وقت المد وينخفض وقت الجزر. وعلى ذلك فهناك فارق في ارتفاع منسوب المياه. وهذا الفارق يشكل مصدرا كبيرا للطاقة خاصة اذا أخذنا بعين الاعتبار ملايين الأمتار المكعبة من الماء التي تتعرض لهذه الحركة، ولو نظرنا الى مصادر الطاقة الكهرومائية الناتجة عن سقوط مياه الأنهار في الشلالات التي تستخدم في أكثر من بلد في العالم لوجدنا أن هناك تشابها بين هذا المصدر وبين حركة المد والجزر. فلو تم حجز المياه أثناء حالة المد ومنعت من الانحسار عن الشواطىء فستكتشف أنها ستبقى على مستوى أعلى من مياه البحر الأخرى في حالة الجزر. وهذا الفارق في الارتفاع هو الذي يمكن الاستفادة منه في تشغيل التوربينات لانتاج الطاقة الكهربائية.

وقد استخدم الانسان مصدر الطاقة هذا قبل مئات السنين وقبل بدء عصر الكهرباء فقد اعتاد سكان المناطق الساحلية في أوروبا ــ وبخاصة تلك التي يتوفر فيها منسوب عال للمياه أثناء حركة المد ــ من استعمال طاقة المد في تشغيل طواحين القمح لانتاج الدقيق، وكانت فكرة الأوروبيين في العصور الوسطى تقوم على حجز المياه حين ارتفاعها في

أحواض طبيعية تشبه البرك الكبيرة، وكانوا يقومون بانشاء بوابات على العنق الواصل بين البحر ومثل هذه البرك، وحين يرتفع منسوب المياه وقت المد كانوا يقومون باغلاق هذه البوابات وحجز المياه في البرك، بعد ذلك تفتح بوابات موجودة على قنوات تصل ما بين هذه البرك والطواحين، وبهذا فقد كان في استطاعتهم تشغيل مطاحن القمح بواسطة حركة المد (١).

وفي الواقع لاتختلف الفكرة الحالية كثيرا عن فكرة الأوروبيين في العصور الوسطى اذ أنها أيضا تعمل على الاستفادة من الفارق بين منسوبي المياه في حالتي المد والجزر. وقد أدخلت تحسينات كثيرة على الفكرة الماضية ووضعت عدة مقترحات لزيادة كفاءة استخراج الطاقة، اضافة الى العمل على الاستفادة من حركة المياه أثناء المد والجزر في ذات الوقت، وسنتعرف في الصفحات اللاحقة على مجموعة من الآراء والأفكار المطروحة للاستفادة من حركتي المد والجزر لانتاج الطاقة.

وبعد دخول الانسان عصر الكهرباء أخذ المهندسون يفكرون في الاستفادة من المد والجزر لانتاج الطاقة الكهربائية، وتعود معظم هذه الأفكار الى بداية القرن الحالي، ففي عام ١٩١٩ اقترح المهندس الأمريكي ديكستركوبر بناء محطة كبيرة تعمل على حركة المياه أثناء المد والجزر في خليج باساماكودي في أمريكا، ففي هذه المنطقة توجد عدة جزر على باب الخليج يعمل وجودها على أن تتحرك المياه بقوة كبيرة أثناء المد، وكانت فكرة المهندس الأمريكي كوبر هي بناء سد ضخم لحجز المياه في الخليج، وحيث تتوفر مجموعة الجزر فان المطلوب في هذه الحالة هو تكملة هذا السد الطبيعي وذلك بتوصيل هذه الجزر ببعضها، كان كوبر على علم بأن انشاء السد والمحطة سيكلف أموالا طائلة لكنه كان على ثقة من أن الطاقة الناتجة ستغطي تكاليف الانشاء في الفترة اللاحقة، واستطاع كوبر أن يقنع

---

(١) Carr, D.E. Energy and the Earth Machine, W.W. Nortan and company. N.Y., U.S.A, 1976.

الرئيس الأمريكي فرانكلين روزفلت بدفع الكونغرس الأمريكي إلى تخصيص الاعتمادات اللازمة لهذا المشروع برغم السخرية التي أبدتها بعض الأوساط آنذاك، وبالفعل فقد استطاع الرئيس روزفلت دفع الكونغرس الى تخصيص اعتمادات لهذا المشروع، وبدأ العمل فعلا في عام ١٩٣٥ لانشاء السد المقترح، الاّ أن الكونغرس عاد في فترة لاحقة ورفض تخصيص المزيد من الاعتمادات المطلوبة لاكمال المشروع فكان أن توقف المشروع قبل الاكتمال، ومازال السد قائما الى يومنا هذا دليلا على حلم علمي لم يتحقق (٢).

كما فكر الفرنسيون أيضا في العمل على الاستفادة من طاقة المد والجزر، ففي عشرينات هذا القرن قامت الحكومة الفرنسية بتركيب محطة صغيرة في مضيق نهر ديورس لانتاج الكهرباء لبعض منشآت الحكومة الفرنسية، وقد كانت هذه المحطة من النوع الصغير الذي لا يتلاءم وطموح المهندسين والعلماء الذين حلموا بانشاء محطات تنتج ملايين الكيلوات من الطاقة الكهربائية.

وفي عام ١٩٤٠ دخل المهندس الفرنسي روبرت جبرات حقل توليد الطاقة من المد والجزر، وبعد دراسة مكثفة للمعلومات المتوفرة آنذاك اقترح الاستفادة من حركة المد والجزر في نهر الرانس وبرغم أن جبرات وجد أن منسوب المد في بعض المناطق أعلى منه في مصب نهر الرانس الاّ أنه وجد أن كل ما يتطلبه الأمر في هذا الموقع هو انشاء سد طوله نصف ميل لحجز المياه ومن ثم استغلالها في ادارة وتشغيل التوربينات، غير أن زملاء جبرات من المهندسين والعلماء قاموا بحساب تكلفة المشروع وكمية الطاقة الناتجة ووصلوا الى نتيجة تقول بأن هذا المشروع سيكلف كثيرا دون أن يعطي كمية من الطاقة تبرر هذه المصاريف العالية، وقد يكون كوبر قد واجه

(٢) Michelsohn, D.R. The Oceans in Tomorrow's World, Juliour Messner, N.Y. U.S.A, 1972.

نفس المشكلة الأمر الذي اضطر الكونغرس الى وقف المزيد من الاعتمادات.

على كل لم تحبط هذه الحسابات آمال جبرات فقد كان عليه أن يواجه بعض المشكلات الفنية الأخرى المتعلقة بحركة المياه وأوقاتها ومنسوبها، أخذ جبرات يتعاون مع المهندس الفرنسي جاك دوبور وفريق من المهندسين الفرنسيين المختصين، وبعد دراستهم للمشروع قرر المهندسون أن استغلال مصدر الطاقة هذا يحتاج الى نوع جديد من التوربينات يختلف عن ذلك المستعمل في انتاج الطاقة من الأنهار والشلالات، كانت فكرة المهندسين الفرنسيين تقوم على أنه اذا أريد الاستفادة من طاقة المد والجزر فلابد من تصميم توربين يعمل أثناء حركة المياه مدا وجزرا، أي الاستفادة من حركة المياه في كلا الاتجاهين، ولم يكن مثل هذا التوربين متوفرا في ذلك الوقت ولذا كان لابد من العمل على تصميمه.

وبدأ المهندسون الفرنسيون العمل على تصميم هذا التوربين الجديد منذ عام ١٩٤٣، وبعد جهود كبيرة تمكنوا من انتاجه وهو ما يعرف باسم توربين كابلان. كانت قوة التوربين الذي صنعه الفرنسيون ٩ ميغاواط، وقد بدءوا بعد ذلك في اقامة السد المطلوب على نهر الرانس وقاموا بتركيب ٢٤ توربيناً في المحطة، في عام ١٩٦٧ اكتمل انشاء المشروع وبدأ انتاج الطاقة الكهربائية (٣).

أما المشروع الآخر الذي تم انشاؤه وينتج الطاقة الكهربائية أيضا فيقع في منطقة مرمنسك في كسلايا غوبا في الاتحاد السوفيتي (٤)، وتبلغ الطاقة الانتاجية لهذا المشروع ٢٠٠٠ كيلو واط فقط وتم الانتهاء منه في عام ١٩٦٩، ويعمل المشروع السوفيتي على فارق منسوب المياه بين المد والجزر

---

(٣) Thirring, H., **Energy for Man**, Indiana University Press, Bloomington, U.S.A, 1976, P.284.

(٤) Carr, D.E., OP. Cit,

مقداره ١١ قدما بينما المشروع الفرنسي يعمل على فارق أكبر.

نظرية المد والجزر:

تتعرض الأرض الى تأثيرات قوى الجاذبية من جانب الشمس والقمر، وحسب قوانين نيوتن في الجاذبية فان قوة الجذب بين جسمين تتناسب طرديا مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيا مع مربع المسافة بين مركزي ثقلهما.

ونتيجة لاختلاف الخصائص الفيزياوية من حيث الحجم والوزن لكل من الأرض والشمس والقمر (انظر الجدول) فان قيمة قوى الجاذبية بين الشمس والأرض تختلف عنها بين الأرض والقمر، لكننا حين نتطرق الى مسألة المد والجزر فان الأمر الذي يهمنا هو الفارق بين قوى الجاذبية المؤثرة على نقطة في مركز الأرض وقوى الجاذبية المؤثرة على نقطة على سطح الأرض، وسبب اهتمامنا في هذا الفارق يعود الى أنه يشكل العامل الأساسي في حركة المد والجزر.

جدول رقم (١)
بعض الخصائص الفيزياوية للشمس والقمر والأرض

الجسم	الوزن/غم	المسافة بين الجسم والأرض/سم
الشمس	$١ر٩٧١ \times ١٠^{٣٣}$	$١ر٤٩٥ \times ١٠^{١١}$
القمر	$٧ر٣٤٧ \times ١٠^{٢٥}$	$٣ر٨٤٤ \times ١٠^{٨}$
الأرض	$٥ر٩٨٣ \times ١٠^{٢٧}$	—

ان قوة الجذب التي تؤثر بها الشمس على وحدة كتلة موجودة في مركز الأرض أكبر من القوة التي يؤثر بها القمر على ذات وحدة الكتلة. لكن لو نظرنا الى المسافة بين كل من مركزي الشمس والقمر ومركز الأرض لظهر لنا أن بعد الشمس عن الأرض أكبر بكثير من بعد القمر عن الأرض. ان هذا يعني أن قوة الجذب التي تؤثر بها الشمس على وحدة كتلة على سطح الأرض لا تختلف كثيرا عن القوة التي تؤثر بها على وحدة الكتلة في مركز الأرض إذ يبلغ طول نصف قطر الأرض ٦٫٣٧١ × ١٠^٨ سم، وهذا الطول قليل جدا بالمقارنة بالمسافة بين مركزي الأرض والشمس كما يتضح من الجدول رقم (١) السابق، وعليه فان الفارق في قوة جذب الشمس على وحدة الكتلة على سطح الأرض بالمقارنة بوحدة الكتلة في مركز الأرض صغير.

أما لو نظرنا الى طول نصف قطر الأرض مقارنا بالمسافة بين مركز الأرض ومركز القمر لتبين لنا أن نصف قطر الأرض يشكل في هذه المسافة نسبة أعلى مما يشكل في المسافة بين مركز الشمس ومركز الأرض، على ذلك فان القيام بعملية حسابية لايجاد الفرق بين قوى الجذب المؤثرة على وحدة الكتلة على سطح الأرض وفي مركز الأرض من جانب كل من الشمس والقمر تظهر أن الفارق في قوة جذب القمر أكبر من الفارق في قوة جذب الشمس، اننا نتكلم هنا عن الفارق بين قوتي جذب يحدثهما نفس الجسم على وحدتي كتلة موجودتين في نقطتين مختلفتين على الأرض، ان كون الفارق في قوى جذب الشمس اقل لا يتعارض مع حقيقة أن قوة جذب الشمس أكبر من قوة جذب القمر، ان ما يهمنا هو الفارق بين قوى الجذب وليس القيم المطلقة لهذه القوى، هذا الفارق في قوى الجذب هو ما يهمنا اذ أنه السبب الرئيسي في حدوث حركتي المد والجزر في البحار والمحيطات.

وعلى ذلك فان أي تغير في هذا الفارق في قوى الجذب سيؤدي الى

حصول تغير في القوى المنتجة للمد وسيؤثر بالتالي على كمية الطاقة التي يمكن الحصول عليها، والأرض كما نعلم ليست كروية تماما، كما أن دورانها حول الشمس لا يتخذ شكلا دائريا تماما مما يعني أن المسافة بين الأرض والشمس من جانب والأرض والقمر من جانب آخر تتغير حسب أوقات السنة، وينتج عن هذا أن القوى المنتجة للمد تتغير، وتتغير تبعا لذلك ارتفاعات مستوى المد خلال العام، كذلك تختلف المسافة بين مركز القمر ونقطة على سطح الأرض المواجه للقمر عن المسافة بين مركز القمر ونقطة على الجانب الآخر للأرض الذي لا يواجه القمر، وتتأثر هذه المسافة أيضا حسب موقع النقطة موضع الاهتمام على خطوط العرض على سطح الأرض، كل هذه العوامل تلعب دورها في التحكم بحركة المد.

ومن أجل الوصول الى تصور علمي رياضي عن حركة المد فانه يتم اللجوء الى اعتبار أن الأرض كرة صلبة يغطي سطحها طبقة من الماء، وأن طبقة الماء هذه تتعرض الى قوى الجذب من جانب الشمس والقمر(٥)، إن هذا الافتراض ليس صحيحا تماماً إذ أن سطح الأرض ليس مغطى بطبقة مائية رغم أن المياه تغطي مساحات شاسعة من سطح الأرض، لكن هذا الافتراض ضروري من أجل التوصل الى تصور علمي لهذه المسألة، والواقع أن القياسات التي تجري على ظاهرة حركة المد في المحيطات تدل على أن هذا الافتراض مقبول وعلمي بالنسبة لتلك المناطق، أما في المناطق القريبة من السواحل والخلجان فان حركة المد لا تتوافق مع هذا الافتراض بسبب عوامل احتكاك المياه المتحركة على الشواطىء بالأرض، وبسبب الخصائص الفيزيائية لبعض الخلجان التي تؤدي الى ارتفاع منسوب المياه الى أمتار عديدة.

ترتكز النظرية القائمة على افتراض وجود طبقة مائية تغطي سطح

---

(٤) Duxbury, A.C. **The Earth and its Oceans** Addison-Wesley Publishing Company, London, U.K., 1977, P,316.

الأرض باسم المد التوازني Equilibrium Tide، وتبين هذه النظرية ان النقطتين الواقعتين على الخط الواصل بين مركزي الأرض والقمر مثلا على طرفي قطر الأرض (نقطة مواجهة للقمر وأخرى في الجانب الآخر) تتعرضان الى قوى متساوية لكنها مختلفة الاتجاه. وعليه فان منسوب المياه يرتفع في كلا النقطتين في ذات الوقت، إن ارتفاع منسوب المياه هذا لابد وأن يقابله انخفاض في المنسوب في نقاط أخرى، ولذا فان حركة المد في نقطة ما على سطح الأرض يقابلها جزر في نقطة أخرى.

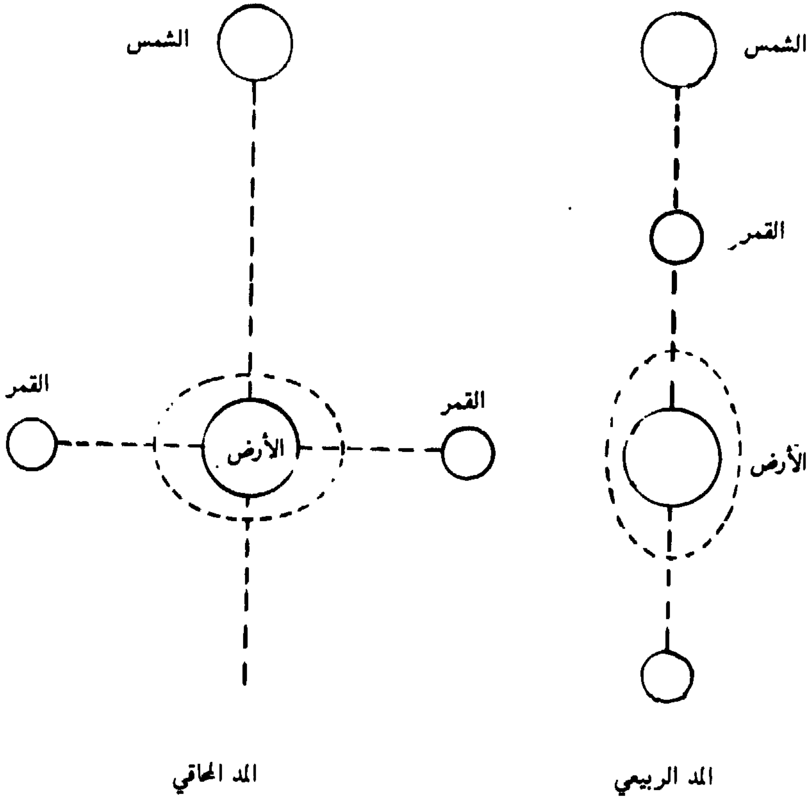
وحسب الحسابات الرياضية لهذه النظرية فان قوى جذب القمر تؤدي الى ارتفاع منسوب المياه بمقدار ٣٥٫٤ سم في النقطتين الواقعتين على طرفي قطر الأرض الذي يشكل جزءا وامتدادا للخط الواصل بين مركزي الأرض والقمر، أما الشمس فانها تؤدي الى ارتفاع منسوب المياه بمقدار ١٦٫٢ سم، وهذا يعني أن الشمس أقل تأثيرا من القمر في إحداث حركة المد على سطح الأرض. أما أقصى انخفاض لسطح الطبقة المائية المفترضة فهو ١٧٫٧ سم بالنسبة للقمر و٨٫٢ سم بالنسبة للشمس. ان تأثير الشمس في كلتا الحالتين أقل من تأثير القمر ويساوي حوالي ٤٦٪ من تأثير القمر.

اذا حدث أن وقعت مراكز الأرض والقمر والشمس على خط مستقيم واحد فان منسوب المياه يرتفع الى أعلى مستوى، وحسب حسابات النظرية فان أقصى ارتفاع للماء وقت المد يساوي ٥١٫٦ سم، وسواء كان القمر والشمس على جانب واحد بالنسبة للأرض أو كانا على جانبين مختلفين فان ارتفاع الماء يصل إلى أعلى منسوب، والسبب في ذلك هو ما ذكرناه سابقا من أن النقاط المتقابلة على سطح الأرض والواقعة على الخط الواصل بين المركزين تتعرضان الى قوتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في الاتجاه، ويعرف المد في هذه الحالة باسم المد الربيعي ويصل منسوب المياه الى أعلى ارتفاعاته، وحيث يدور القمر حول الأرض مرة في كل شهر قمري فان مراكز الأجسام الثلاثة (الأرض والشمس والقمر) تقع على

خط مستقيم مرتين في كل شهر، وتبعا لذلك يصل منسوب المياه الى أعلى ارتفاعاته مرتين في كل شهر قمري، أما حين لا تقع مراكز الأجسام الثلاثة على خط مستقيم فان ارتفاع منسوب المياه يقل عن مستوى منسوب المد الربيعي، وأقل منسوب ترتفع اليه المياه يحصل حين يكون الخط الواصل بين مركزي الأرض والقمر متعامدا مع الخط الواصل بين مركزي الأرض والشمس، و يكون ارتفاع منسوب المياه حسب نظرية المد التوازني ٢٥٫٩سم، و يعرف المد في هذه الحالة باسم المد المحاقي و يكون في العادة في نهاية الاسبوعين الأول والثالث من الشهر القمري بعكس المد الربيعي الذي يحصل في بداية الشهر ومنتصفه.

إذا فبالاضافة الى تغير منسوب المياه يوميا بفعل حركتي المد والجزر هناك تغير في مستوى منسوب المد والجزر من يوم الى آخر بفعل تغير مواقع الأجسام الثلاثة بالنسبة الى بعضها مع بعض، **في الشكل رقم (١)** نقدم رسما توضيحيا لهذه الظاهرة.

لنأخذ نقطة على سطح الأرض وننظر كيف تتغير حركة المد والجزر في تلك النقطة اعتمادا على نظرية المد التوازني، من المعلوم أن الأرض تدور حول نفسها وحول الشمس في ذات الوقت، اما القمر فانه يدور حول الأرض، وتأخذ الأرض يوما كاملا لتدور حول نفسها و٣٦٥٫٢٥ يوماً لتدور حول الشمس. ولذا فمن أجل أن يكتمل اليوم الشمسي فلابد للأرض أن تدور ٣٦٠ + ٣٦٥٫٢٥/ ٣٦٠ درجة، ان معدل الوقت الذي تستغرقه الأرض لدوران هذه الزاوية هو ٢٤ ساعة وهو طوال اليوم المتعارف عليه، اما بالنسبة للقمر فالوضع مختلف اذ أن القمر يأخذ ٢٧٫٣ يوما ليدور حول الأرض. وهذا يعني أن القمر يدور حول الأرض بزاوية مقدارها ٢٧٫٣/ ٣٦٠ درجة كل يوم، فاذا نظرنا الى نقطة تقع على سطح الأرض وعلى الخط الواصل بين مركزي الأرض والقمر نجد أنها بحاجة أن تدور ٣٦٠ + ٢٧٫٣/ ٣٦٠ درجة حتى تقع مرة أخرى على الخط الواصل بين مركزي



شكل ١ ــ المد الربيعي والمد المحاقي

الأرض والقمر، وحيث إن الأرض تدور ٣٦٠ درجة كل ٢٤ ساعة فان هذا يعني أن نقطة واقعة على سطح الأرض وعلى الخط الواصل بين مركزي الأرض والقمر تحتاج في الواقع الى ٢٤ ساعة و٥٠ دقيقة حتى تعود مرة أخرى وتقع على الخط الواصل بين مركزي الأرض والقمر.

يتبين لنا مما سبق ان القوى المؤثرة على حركة المياه تختلف في طبيعة

تغيرها فتأثير قوة الشمس على المياه يكمل دورة واحدة كل ٢٤ ساعة في المعدل بينما تأثير قوة القمر تحتاج الى ٢٤ ساعة و٥٠ دقيقة، وكما بينّا سابقا فان تأثير القمر على المياه أكبر من تأثير الشمس، ولذا نرى أن حركة المد والجزر ليست حركة دورية منتظمة بمعنى أنها لا تحدث في ذات الوقت من كل يوم، واذا أخذنا بالمعطيات النظرية فقط فان وقت أعلى منسوب للمياه يتقدم حوالي ٥٠ دقيقة للأسباب التي ذكرناها.

إنّ نظرية المد التوازني إذن تعطينا صورة عامة عن طبيعة حركة المياه على سطح الأرض في ظل تأثيرات قوى جذب الشمس والقمر، وتمكننا هذه النظرية من فهم الخصائص العامة لهذه الحركة، لكن وكما هو واقع الحال في المجالات التطبيقية فان الأمور لا تسير بكل التفاصيل حسب ما تفترضه النظرية وتتوقعه، ولكن الفروق بين الواقع والنظرية في المجالات التطبيقية أمر شائع. فلو كان للنظرية أن تأخذ كل المتغيرات والمؤثرات، كبيرها وصغيرها، بعين الاعتبار لأصبح من الصعب الوصول الى بناء تصور عام وتحديد الخطوط المهمة في أي مجال وهو ما تهدف اليه النظرية أصلا.

فالمياه لا تغطي كل سطح الأرض بل حوالي ثلثيه، كذلك فان عمق المياه في البحار والمحيطات والخلجان يتغير من منطقة الى أخرى، وهذا يؤثر بدوره على حركة المياه، ثم هناك العوامل الطبوغرافية التي قد تشكل عوائق في وجه ارتفاع منسوب المياه وتجبرها على الارتداد الى البحر، كذلك فان الخصائص الفيزيائية للمناطق البحرية كالطول والعرض والعمق تلعب دورا مهما في تحديد خاصية ما يسمى بالاهتزاز الطبيعي التي تؤثر بدورها على المنسوب الذي تصل اليه مياه المد، فحين تهتز منطقة بحرية بذبذبة تساوي ذبذبة اهتزازهاالطبيعي فان ارتفاع منسوب المياه يصل الى ارتفاعات عالية، ويظهر تأثير هذه الخاصية في الخلجان التي تكون خصائصها الفيزيائية متلائمة مع الاهتزاز الطبيعي، وفي هذه الحالة لا يتأثر سطح المياه عند النقطة الواصلة بين الخليج والبحر كثيرا بينما يحصل التأثير الكثير في

أعلى الخليج عند اليابسة، وتكون هذه المواقع في العادة من المواقع المؤهلة للقيام بمشاريع توليد الطاقة من حركة المد والجزر، وتلعب الخصائص الفيزياوية دورا آخر في ارتفاع منسوب المياه حيث إن المداخل الضيقة لبعض الخلجان تساعد على اندفاع المياه بقوة أكبر، مما يؤدي الى حصول منسوب أعلى للمد.

إن ما تقدم يعني أن حركة المد محكومة بمجموعة من العوامل التي تحدد في النهاية ارتفاع منسوب المياه وأوقات حصول المد، وما اذا كان يحصل مد واحد في اليوم أو أكثر، وتبعا لذلك نشاهد أن ارتفاع المد يختلف من منطقة الى أخرى، فالبحر الأبيض المتوسط مثلا من المناطق التي لا يرتفع فيها المد الى ارتفاعات ذات أهمية، ولكن من جانب آخر هناك بعض الخلجان التي يصل فيها ارتفاع المد الى ١٧ مترا مما يجعلها منطقة ملائمة لمشاريع الطاقة، أما في الخليج العربي فان ارتفاع المد يختلف من منطقة الى أخرى فهو يصل الى حوالي ٤ أقدام عند قطر و يرتفع الى حوالي ١١ قدما عند الكويت، وقد استطاع العلماء السوفييت انشاء محطة تعمل على ارتفاع للمد يتراوح بين ٥ ــ ١٣ قدما مما يدل على أن هناك امكانا لاستغلال هذا المصدر في بعض مناطق الخليج العربي، وفي الصفحات القادمة سنشير الى الوضع في الخليج بمزيد من التفصيل.

اختيار الأماكن الملائمة:

عند التفكير بالاستفادة من طاقة المد في البحار، لابد من اجراء دراسات مفصلة حول مدى جدوى مشاريع الطاقة هذه من وجهة نظر فنية واقتصادية، وأول الأمور الفنية التي يجب دراستها هي حركة المياه أثناء المد والجزر وحجم الحوض الذي يمكن انشاؤه. وتنبع أولوية هذين الامرين من حقيقة أن الطاقة التي يمكن الحصول عليها من مشاريع المد والجزر تتناسب مع ارتفاع منسوب مياه المد فوق مياه البحر من جانب ومع كمية المياه المحجوزة في الحوض من جانب آخر، فقد يحصل مثلا أن تتواجد خزانات

طبيعية ملائمة في بعض المناطق لكن دون توفر ارتفاع ملائم لمنسوب المياه أثناء المد، وقد يحدث أن يتوفر ارتفاع عال لمنسوب المياه دون أن تتوفر مناطق تصلح أن تكون خزانات للمياه، في مثل هذه الحالات تقل فرص الاستفادة من طاقة المد، واذا ما تم التفكير باستغلالها فقد يثبت أن التكلفة الاقتصادية عالية جداً، ومثال ذلك ما إذا انعدم وجود الأحواض الطبيعية وأصبح لزاما انشاء حوض صناعي فان تكلفة انشاء مثل هذا الحوض قد تجعل من انشاء محطة طاقة أمرا مكلفا وليس اقتصاديا.

ولكي نأخذ فكرة عن مساحات الأحواض المطلوبة وحجومها فلنفترض أننا نود انشاء محطة لانتاج ١٠٠ ميغاواط من الطاقة الكهربائية، ولنفترض أيضا أن ارتفاع منسوب مياه الحوض فوق مياه البحر يساوي خمسة أمتار فإن معدل جريان المياه المطلوب في هذه الحالة هو في حدود ٢٥٠٠ متر مكعب في الثانية، ولو قدر لهذه المحطة أن تعمل طوال الوقت لتطلب الأمر خزن مايكفي لمدة ١٢ ساعة و٢٥ دقيقة، وحينئذ نعلم أننا بحاجة الى حوض سعته مائة مليون متر مكعب من المياه، إن تشغيل المحطة بشكل يضمن انتاجا مستمرا وثابتا يقتضي أن لا يتغير ارتفاع منسوب المياه إلا في حدود قليلة، ولذا فان حجم الحوض سيكون في الواقع أكبر بكثير من كمية الماء المطلوبة كي لا يؤثر سحب المياه من الحوض في ارتفاع منسوب المياه، ولو افترضنا أن سعة الحوض تساوي عشرة أضعاف كمية المياه المطلوبة لاحتجنا في حالة المثال الذي سقناه الى حوض سعته الف مليون متر مكعب أو كيلومتر مكعب من المياه.

الشرطان الرئيسيان، اذن لتوفر امكان استغلال مصدر طاقة المد هما:ــ

١ــ أن يكون هناك فارق معتدل بين منسوبي المياه وقت المد والجزر.

٢ـأن تتوفر مناطق طبيعية ملائمة تشكل أحواضا احتمالية بحيث لا يتطلب الأمر سوى انشاء سدود بمقاسات معتدلة وتكلفة قليلة.

قائمة ببعض المناطق الملائمة لمشاريع طاقة المد *

المنطقة	المدى الوسطي لتغير منسوب المياه (أمتار)	مساحة الخزان كيلو متر مربع
امريكا الشمالية		
انابوليس	٦ر٤	٨٣
شيبوري	٩ر٨	١١٧
ميمر امكوك	١٠ر٧	٢٣
الارجنتين		
سان خوزيه	٥ر٩	٧٥٠
انجلترا		
سيفرن	٩ر٨	٧٠
فرنسا		
الرانس	٨ر٤	٢٢
مونت سان ميشيل	٨ر٤	٦١٠
ايرلنده		
سترانجفورد لون	٣ر٦	١٢٥
الاتحاد السوفييتي		
كيسلايا غوبا	٢ر٤	٢
البحر الابيض	٥ر٦٥	٢٠٠٠
ميزين	٦ر٦	١٤٠

* أمامك هنا قائمة ببعض المناطق الملائمة لانشاء مشاريع طاقة المد. وسنفرد جزءا خاصا في الصفحات اللاحقة عن أحوال حركة المد والجزر في الكويت.

اضافة الى ذلك فان موقع المنطقة الجغرافي يلعب دورا في تحديد ما اذا كان من الملائم انشاء محطات الطاقة هذه أو لا، فاذا كانت المنطقة قيد الدراسة بعيدة عن المراكز السكانية أو الصناعية بمعنى أنها بعيدة عن أسواق استهلاك الطاقة فقد لا تصبح المشاريع في هذه الحالة ملائمة، اذ أن العوامل الاقتصادية المتعلقة بنقل الطاقة المتولدة والاستثمارات المطلوبة لذلك قد تجعل المشروع غير اقتصادي، ثم لابد من ضمان سهولة وصول التجهيزات والمعدات وأدوات الصيانة والتشغيل ولوازم العاملين في هذه المشاريع، لكن من الجانب الآخر، قد يؤدي وجود المناطق الملائمة والبعيدة عن المراكز السكنية الى اقامة بعض المناطق الصناعية أو الزراعية خاصة اذا توفرت الظروف والمعطيات الأخرى الملائمة لذلك.

وهناك جانب آخر لابد من أخذه بعين الاعتبار وهو موضوع الملاحة البحرية، اذ أن انشاء مشاريع طاقة المد يقتضي بناء حواجز وسدود واغلاقها أثناء فترات معينة بحيث لا يسمح فيها بالملاحة أثناء هذه الفترات وربما يكون موقع هذه الحواجز والسدود متعارضا مع الطرق الملاحية القائمة مما قد يؤدي الى ضرورة اعادة تنظيم أعمال الملاحة في المنطقة المذكورة، إن هذا هو أحد الجوانب السلبية المحتملة لمشاريع طاقة المد والجزر. لكن هناك جوانب ايجابية لبناء الحواجز والسدود تتمثل في أن هذه الحواجز والسدود قد تقوم بربط اجزاء من اليابسة بحيث يسهل العبور من نقطة الى اخرى بواسطة اجتياز جسر قصير بدل سلوك الطرق المحاذية للشواطيء، فيما لو لم توجد مثل هذه الجسور، كذلك فان الانشاءات المرتبطة بمحطة الطاقة قد تعني تحسين وزيادة فعالية وكفاءة التسهيلات والخدمات البحرية.

النقطة الأخرى التي أخذت تحتل موقعا مهما في معظم مشاريع الطاقة هي النواحي البيئية لمثل هذه المشاريع بمعنى تأثير انشاء مشاريع الطاقة على تلوث الجو ومياه الأنهار والبحار وتأثيرها على أوضاع الكائنات الحية الأخرى سواء على اليابسة أو في الماء، إن طاقة المد لا تحمل أية أضرار

بيئية تلويثية لأن الطاقة الناشئة هي نتاج التغير في ارتفاع منسوب المياه وليست نتيجة حرق مواد عضوية أو هيدروكربونية أو تفاعلات نووية، ولن يكون هناك تلويث للجو لأنه لن يكون هناك غازات محترقة، كما أنه لن يكون هناك تلويث لمياه البحار لأنه لا يتم قذف أي من نفايات أو فضلات المحطة في البحر، اضافة الى ذلك فان التأثير على الكائنات البحرية سيكون قليلا جدا اذ أن بيئتها لن تتغير كثيرا بل على العكس يتوقع البعض أن تسهم الأحواض الكبيرة في تطوير مصادر الثروة البحرية السمكية.

أنواع المحطـــات:ـــ

ان دراسة ملاءمة موقع ما لانشاء محطات طاقة تعمل على الفرق في منسوب المياه أثناء المد والجزر هي الخطوة الأولى في الطريق الى الهدف النهائي وهو الاستفادة من هذا المصدر وتوليد الطاقة الكهربائية، ويقتضي توليد الطاقة الكهربائية تركيب توربينات تقوم بتشغيل مولدات كهربائية لهذا الغرض، وهناك مجموعة أفكار حول الطرق المختلفة التي يمكن اتباعها للحصول على الطاقة الكهربائية، ويتوقف اختيار طريقة معينة على مجموعة العوامل الفيزياوية للموقع وعلى العوامل الاقتصادية، ويتوقف كذلك على طبيعة الاستهلاك الكهربائي القائم في المنطقة موضع الدراسة.

أشرنا في الصفحات السابقة الى أن حركة المد والجزر تحدث بشكل دوري، وأن النموذج النظري يتوقع أن تصل المياه الى أعلى منسوب لها مرة كل ١٢ ساعة و٢٥ دقيقة، وهذا يعني أن أعلى منسوب للمد لا يحصل في ذات الوقت من كل يوم بل ينحو لأن يتقدم ٥٠ دقيقة يوميا، إن أهمية هذه الحركة تنبع من حقيقة أن الاستهلاك الكهربائي يتبع منحنيات معينة، فمثلا يكون استهلاك الكهرباء في النهار أكثر منه في الليل وبشكل خاص خلال ساعات معينة منه، أما في الليل فان الاستهلاك يقل، ومع منتصف الليل ينحو الاستهلاك الى أن يصل الى أدنى مستوياته، ويتكرر هذا النمط من

الاستهلاك بشكل دوري، ولذلك تستطيع محطات الطاقة الكهربائية التي تعمل على الوقود أن ترتب انتاجها الكهربائي اعتمادا على ما يتوفر لديها من معلومات واحصاءات، أما بالنسبة لطاقة المد والجزر فانها تحدث في أوقات تتغير باستمرار بالنسبة لنمط حياتنا خلال الأربع والعشرين ساعة من كل يوم، وتبعا لذلك فلابد من الأخذ بالاعتبار حقيقة التغير هذه وادراجها ضمن الهيكل العام للاستهلاك الكهربائي.

وهناك عدة أشكال من المحطات التي تعمل على حركة مياه المد والجزر والتي تلائم المواقع المختلفة وأنماط الاستهلاك المختلفة، وسنشير هنا الى ثلاثة من هذه الانواع (٦):ـ

١ ــ المحطات أحادية الخزان أحادية المفعول:

تتكون هذه المحطة من حوض واحد يتم انشاؤه بواسطة بناء حاجز أو سد، ويتم تركيب محطة توليد الطاقة في هذا الحاجز اضافة الى مجموعة من المنافذ التي تفتح وتغلق حسب الحاجة، يتم ملء هذا الحوض بواسطة ارتفاع مستوى الماء أثناء المد، وحين يصل مستوى الماء الى المنسوب العالي تغلق المنافذ للمحافظة على ارتفاع منسوب المياه في الخزّان، بعد ذلك يأخذ مستوى ماء البحر بالانخفاض بينما يكون ماء الخزّان محافظا على منسوبه. وحين يصل الفرق بين منسوبي المياه في الخزّان والبحر الى الدرجة التي تسمح بتشغيل التوربينات يتم توجيه مياه الخزّان الى التوربينات التي تأخذ بالعمل وانتاج الطاقة الكهربائية، يستمر التوربين في العمل وتشغيل المولدات الكهربائية مادام الفارق بين المنسوبين ملائما لذلك وأثناء عمل التوربين يفقد الخزّان جزءا من مائه ويأخذ منسوب الماء فيه بالانخفاض، من جانب آخر يصل مستوى مياه البحر الى أدنى مستوى في حالة الجزر ثم يأخذ بالارتفاع من جديد، وبغض النظر عما اذا كانت مياه البحر في حالة

---

٦ ـــ Gray, T.J. and Gashus, O.K. **Tidal Power**, Plenum Press, N.Y., 1972, P.8.

جزر أو مد فان التوربين يستمر في العمل مادام الفارق بين منسوبي المياه في الخزان وخارجه ملائما، وحين يقل هذا الفارق الى الدرجة التي لا تسمح بالمزيد من انتاج الكهرباء يتوقف جريان المياه من الحوض عبر التوربينات الى البحر، وتبدأ من ثم فترة انتظار يسمح فيها لمنسوب مياه البحر بالارتفاع بسبب حركة المد، وحين يصل منسوب مياه البحر الى مستوى أعلى من مستوى منسوب المياه في الخزّان يتم فتح المنافذ للسماح لمياه البحر بالدخول الى الحوض، وتستمر هذه العملية حتى تصل مياه المد الى أعلى مستوى لها حيث تغلق هذه المنافذ، وقد تستعمل في مثل هذه الحالات مضخات المياه لضخ المزيد من مياه البحر الى الخزّان خاصة وأن الطاقة المطلوبة لتشغيل هذه المضخات ليست كبيرة بسبب أن الفارق في إرتفاع منسوبي المياه ليس كبيرا.

حين تنحسر مياه البحر بسبب حركة المد والجزر و يتكون فارق في ارتفاع منسوبي المياه يسمح للماء بالتدفق خلال التوربينات لتشغيلها، وتستمر عملية التشغيل حتى يعود ماء البحر الى الارتفاع حيث يصبح فارق منسوبي المياه لا يسمح بالاستمرار في تشغيل التوربينات، وتستمر العملية بهذا الشكل بحيث تتوفر الامكانية لتشغيل التوربينات وانتاج الكهرباء خلال ساعات محدودة في كل دورة مد وجزر ومن هنا نرى أن انتاج الكهرباء في هذه المحطات ليس أمرا مستمرا بل إنه ذو طبيعة متقطعة.

٢ ـ المحطات أحادية الخزان ثنائية المفعول :

هذا النوع من المحطات صورة مطورة عن المحطات السابقة، وتقوم الفكرة هنا على الاستفادة من حركة المياه في كلا الاتجاهين، أي توليد الطاقة الكهربائية أثناء تعبئة الخزّان وأثناء تفريغه، ومن أجل تحقيق هذا الهدف يتطلب الأمر تركيب توربينات تعمل على حركة المياه بغض النظر عن اتجاه الحركة، و يقتضي هذا بالضرورة أن تتوفر امكانية تعديل اتجاه شفرات التوربين بما يتلاءم مع اتجاه حركة المياه.

لنبدأ بافتراض أن المحطة في حالة التوقف عن العمل وأن فارق منسوبي المياه في الحوض والبحر لا يسمح بتشغيل التوربين، نفترض ايضا أن مستوى مياه البحر يرتفع أي أنها في حالة مد، حين تأخذ مياه البحر بالارتفاع فوق مستوى مياه الحوض تفتح المنافذ و يسمح لمياه البحر بدخول الحوض لرفع مستوى المياه هناك، وحين تصل مياه البحر الى أعلى منسوب تقفل هذه المنافذ و يتم تشغيل مضخات لرفع كميات من مياه البحر الى الحوض للعمل على رفع مستوى مياه الخزان الى مستويات أعلى، بعد ذلك تمر المحطة في مرحلة انتظار حين ينخفض مستوى ماء البحر بحيث يسمح الفارق بين منسوبي المياه بتشغيل التوربينات، عندها يتم توجيه مياه الحوض الى التوربينات و يبدأ انتاج الطاقة الكهربائية، يستمر هذا الأمر حتى تعود مياه البحر الى الارتفاع بحيث تصل الى مستوى منسوبي مياه الخزان، وعلينا ملاحظة أن المنافذ تبقى مفتوحة أثناء ارتفاع مياه البحر رغم أن الفارق بين منسوبي المياه يقل بشكل مستمر، و يؤدي هذا الأمر الى أن كمية الكهرباء المنتجة تأخذ بالانخفاض بشكل سريع كلما نقص الفارق بين المنسوبين.

إن السبب وراء ترك المنافذ مفتوحة هو تخفيض مستوى مياه الخزان للاستفادة من هذا الانخفاض في مرحلة توليد الكهرباء الثانية، فعندما يصل منسوب المياه الى ذات الارتفاع تغلق المنافذ بحيث تستمر مياه البحر في الارتفاع فوق مستوى مياه الحوض، وحين تقترب مياه البحر من الوصول الى أعلى مستوياتها يكون قد تشكل فارق بين منسوبي المياه يسمح لمياه البحر بتشغيل التوربينات وانتاج الكهرباء، و يستمر انتاج الكهرباء حتى تأخذ مياه البحر بالانحسار و يصبح الفارق في منسوبي المياه قليلا، عندها تغلق المنافذ وتستمر مياه البحر بالانحسار بينما مياه الحوض على مستواها، وحين يتشكل فارق ملائم في منسوبي المياه يعاد تشغيل التوربينات بواسطة مياه الحوض وتستمر الدورة على هذا المنوال بحيث يتم الحصول على الطاقة

الكهربائية بفعل حركة المياه في كلا الاتجاهين .

٣ ـ محطات الخزانات المتصلة:

يمتاز هذا النوع من المحطات بأن توليد الكهرباء عملية مستمرة طوال الوقت، لكن كمية الكهرباء الناتجة ليست ثابتة طوال الوقت وانما تختلف مع حركة المد والجزر، هذا النوع من المحطات ملائم لبعض المناطق التي تتوفر فيها خصائص طبوغرافية معينة بحيث يتوفر هناك منطقتان متجاورتان تشكل كل منهما حوضا قائما بذاته.

وتتم الاستفادة من هذا النوع من المصادر بواسطة انشاء سد أو حاجز مشترك يحجز الحوضين عن مياه البحر، وتنشأ في هذا الحاجز منافذ لكل من الحوضين على حدة بحيث تفتح وتغلق حسب ما تقتضية ظروف التشغيل. أما محطة التوليد الكهربائي فانها تنشأ بين الحوضين، يعرف أحد الحوضين باسم الحوض العالي والآخر باسم الحوض المنخفض، وسبب التسمية يعود الى أنه يجري الاحتفاظ بمنسوب المياه في الحوض العالي على مستوى أعلى من مستوى منسوب المياه في الحوض المنخفض بشكل دائم مما يعني توفر امكانية توليد الطاقة الكهربائية بشكل مستمر.

يتلقي الخزان العالي مياهه من البحر أثناء المد و يقذف بها الى الخزان المنخفض بشكل دائم، أما الخزان المنخفض فيحصل على المياه من الخزان العالي و يفرغها في البحر مرة أخرى، وهكذا تتحرك المياه من البحر الى الخزان العالي الى الخزان المنخفض فالبحر مرة أخرى.

لنبدأ بشرح دورة التشغيل بافتراض أن البحر في حالة جزر وأن منسوب المياه فيه منخفض الى أدنى مستوى، لنفترض كذلك أن الحوض العالي مملوء بالمياه، يأخذ التوربين في العمل عند توجيه مياه الحوض العالي الى الحوض المنخفض عبر التوربين، وتأخذ مياه الحوض المنخفض بالارتفاع، واذا حصل أن كانت على منسوب أعلى من منسوب مياه البحر فانه يسمح

لها بالتدفق الى البحر عبر المنافذ، وحين يأخذ مستوى مياه البحر بالارتفاع ليصل الى مستوى مياه الحوض المنخفض تغلق المنافذ و يسمح للمياه بالارتفاع داخل الحوض، لكن نظرا لأن مياه الحوض العالي مازالت أعلى من مستوى مياه الحوض المنخفض فان التوربين يستمر في العمل.

وحين يصل منسوب مياه البحر الى منسوب مياه الحوض العالي تفتح منافذ الحوض العالي و يسمح لمياه البحر أن تتدفق الى الداخل لرفع مستوى مياه الحوض وحين تصل مياه المد الى اعلى مستوى تغلق المنافذ للاحتفاظ بالمياه داخل الحوض العالي، و يستمر التوربين في العمل بسبب أن منسوب مياه الحوض العالي مازالت أعلى من مياه الحوض المنخفض. غير أنه من الطبيعي أن تكون حجوم الأحواض متلائمة بحيث تسمح للتوربين بالعمل المتواصل.

وحين تنحسر مياه البحر وتصل الى مستوى مياه الحوض المنخفض تفتح منافذ هذا الحوض للسماح للماء بالتدفق ثانية الى البحر لتكتمل دورة جريان الماء. وتستمر العملية الى أن تصل مياه البحر الى أدنى مستوياتها ثم تعود الى الارتفاع ثانية وتصل الى مستوى مياه الحوض المنخفض، عند ذلك تقفل المنافذ و يسمح لمياه البحر بالارتفاع، وهكذا تستمر الدورة وتستمر تعبئة الحوض العالي بواسطة مياه المد، وتفرغ هذه المياه عبر التوربينات الى الحوض المنخفض ثم الى البحر ثانية، وكما لاحظنا فان تشغيل التوربينات عملية مستمرة، وكذلك انتاج الكهرباء، ولكن في الأوقات التي تقفل فيها كل المنافذ و يسمح لمياه الحوض المنخفض بالارتفاع فان انتاج الكهرباء يقل بسبب انخفاض مستوى مياه الحوض العالي.

مستقبل طاقة المد في الخليج العربي:

لا تتعرض شواطىء الجانب العربي من الخليج الى حركات مد عالية جدا كتلك الموجودة في بعض الشواطىء الاوروبية والامريكية، لكن مع

ذلك فان ارتفاع المد في الخليج او بعض مناطقه يصل الى مستويات عالية بدرجة تسمح باستغلال هذا المصدر إن توفرت الشروط الملائمة الأخرى، فارتفاع المد في الخليج يزداد كلما اتجهنا شمالا، فهو يصل الى حوالي أربعة أقدام عند سواحل قطر و يرتفع الى أكثر من أحد عشر قدما عند شواطيء الكويت، وقد أثبت العلماء السوفييت من خلال محطة الطاقة التي بنوها في منطقة كسلاياغوبا أن بالامكان الاستفادة من طاقة المد حتى ولو كان ارتفاع المد أقل من ١١ قدما، و يبلغ المعدل الوسطي لارتفاع المد في تلك المنطقة حوالي ٨ أقدام، و يتغير ما بين ٣ر٤ ـ ١٣ قدما. وتبلغ مساحة حوض محطة كسلاياغوبا ١٤ر١ كيلومتر مربع وتعمل المحطة بطاقة ٢ ميغاواط .

ولو نظرنا الى جداول المد والجزر الخاصة بالكويت لوجدنا أنها تقع في ذات المدى الذي تعمل عليه محطة كسلاياغوبا، والجداول المتوفرة بين أيدينا تغطي ثلاثة مواقع في الكويت هي على الترتيب، ميناء الكويت وميناء الأحمدي والخفجي. وتدل المعلومات الواردة في هذه الجداول على أن أعلى فرق في منسوبي مياه المد والجزر يحصل في ميناء الكويت يليه ميناء الأحمدي ثم الخفجي.

ونقدم في **الجدول رقم (٣)** بياناً لارتفاع منسوبي مياه المد والجزر لشهر آذار عام ١٩٧٢ في ميناء الكويت (٧).

و يتضح من الجدول التالي أن شواطيء الكويت تشهد حالتي مد وحالتي جزر في كل يوم مع الأخذ بعين الاعتبار الأيام القليلة التي لا تخضع لهذه القاعدة بسبب أن دورة المد والجزر تأخذ أكثر من ١٢ ساعة في العادة، و يتضح أيضا أنه لو استثنينا بعض الحالات لوجدنا أن فارق

---

٧ ـ جداول المد والجزر لميناء الكويت ١٩٧٢،وزارة المالية والنفط والموانىء مطبعة حكومة الكويت.

الارتفـاع بين منسـوبي ميـاه المد والجزر يزيد عن ٥ أقدام في ٨٠٪ من النتائج المدرجة في **الجدول رقم (٣)** .

ولكن كما ذكرنا أثناء نقاشنا سابقا فان فارق الارتفاع ليس هو العامل الوحيد الذي يقرر جدوى انشاء محطات طاقة تعمل على حركة المد والجزر، لكنه بالتأكيد من العوامل الرئيسية والمهمة جدا.

منسوب المد والجزر في ميناء الكويت خلال شهر آذار ١٩٧٢

اليوم	الوقت		الارتفاع بالأمتار	اليوم	الوقت		الارتفاع بالأمتار
	دقيقة	ساعة			دقيقة	ساعة	
١	٢١	—	٣ر٢	٢	٥٩	—	٣ر٢
	٢٣	٧	٠ر٣		٤٦	٧	٠ر٥
	٢٧	١٣	٣ر٣		٤٦	١٣	٣ر٣
	٢٠	١٩	١ر٠		٥٤	١٩	٠ر٩
٣	٣٥	١	٣ر١	٤	١٢	٢	٣ر٠
	٦	٨	٠ر٦		٢٦	٨	٠ر٧
	١	١٤	٣ر٤		١٦	١٤	٣ر٤
	٢٦	٢٠	٠ر٨		٥٦	٢٠	٠ر٨
٥	٥٠	٢	٢ر٨	٦	٣٣	٣	٢ر٦
	٤٧	٨	٠ر٩		١٢	٩	١ر١
	٣٤	١٤	٣ر٤		٥٦	١٤	٣ر٥
	٢٨	٢١	٠ر٨		٤	٢٢	٠ر٨

اليوم	الوقت		الارتفاع بالأمتار
	دقيقة	ساعة	
٧	٢٤	٤	٢ر٤
	٤١	٩	١ر٣
	٢٤	١٥	٣ر٤
	٤٨	٢٢	٠ر٩
٨	٢٤	٥	٢ر٢
	١٥	١٠	١ر٥
	٥٧	١٥	٣ر٤
	٤٧	٢٣	١ر٠
٩	١٨	٧	٢ر١
	٥٩	١٠	١ر٨
	٤٠	١٦	٣ر٣
١٠	١٧	١	١ر٠
	٠٠	٩	٢ر٢
	٧	١٢	٢ر٠
	٤٠	١٧	٣ر١
١١	٠٠	٣	٠ر٩
	٧	١٠	٢ر٤
	٤٢	١٣	٢ر١
	١٠	١٩	٣ر٠
١٢	٧	٤	٠ر٧
	٤٩	١٠	٢ر٧
	١٥	١٥	٢ر٠
	٤٩	٢٠	٣ر١
١٣	٥٤	٤	٠ر٥
	٢٢	١١	٢ر٩
	٢٧	١٦	١ر٧
	٥	٢٢	٣ر٢
١٤	٣٣	٥	٠ر٣
	٥٠	١١	٣ر١
	٢٤	١٧	١ر٣
	٧	٢٣	٣ر٣
١٥	١٠	٦	٠ر٢
	١٧	١٢	٣ر٣
	١٢	١٨	٠ر٩
١٦	١	—	٣ر٤
	٤٦	٦	٠ر٢
	٤٢	١٢	٠ر٥
	٥٧	١٨	٠ر٦

اليوم	الوقت		الارتفاع بالأمتار
	دقيقة	ساعة	
١٧	٥٢	—	٣ر٤
	٢٠	٧	٠ر٣
	٧	١٣	٣ر٦
	٣٩	١٩	٠ر٣
١٩	٣٣	٢	٣ر١
	٣٠	٨	٠ر٧
	٠٠	١٤	٣ر٨
	٧	٢١	٠ر١
٢١	٣٢	٤	٢ر٧
	٤٦	٩	١ر٢
	٨	١٥	٣ر٧
	٥١	٢٢	٠ر٤
٢٣	٢	—	٠ر٥
	٢٣	٧	٢ر٥
	٣١	١١	١ر٨
	٤٥	١٦	٣ر٣
٢٥	١٠	٣	٠ر٦
	٥٤	٩	٢ر٩
	٣٠	١٤	٢ر٠
	٥٢	١٩	٢ر٩

اليوم	الوقت		الارتفاع بالأمتار
	دقيقة	ساعة	
١٨	٤٢	١	٣ر٣
	٥٥	٧	٠ر٤
	٣٣	١٣	٣ر٧
	٢٢	٢٠	٠ر٢
٢٠	٢٨	٣	٢ر٩
	٧	٩	٠ر٩
	٣١	١٤	٣ر٨
	٥٥	٢١	٠ر٢
٢٢	٥٠	٥	٢ر٥
	٣٢	١٠	١ر٥
	٥١	١٥	٣ر٦
٢٤	٣٧	١	٠ر٧
	٤٩	٨	٢ر٦
	٥١	١٢	٢ر٠
	٥٩	١٧	٣ر٠
٢٦	١٧	٤	٠ر٦
	٤٣	١٠	٣ر٠
	٥٧	١٥	١ر٧
	٤٠	٢١	٢ر٩

اليوم	الوقت دقيقة	الوقت ساعة	الارتفاع بالأمتار
٢٧	٧	٥	٠ر٦
	٢٢	١١	٢ر٣
	٥٩	١٦	١ر٤
	٤٩	٢٢	٣ر٠
٢٩	١٩	٦	٠ر٧
	١٩	١٢	٣ر٣
	٢٧	١٨	٠ر٩
٣١	٥٧	—	٣ر٠
	٨	٧	٠ر٩
	٥٢	١٢	٣ر٣
	٣٣	١٩	٠ر٦

اليوم	الوقت دقيقة	الوقت ساعة	الارتفاع بالأمتار
٢٨	٤٧	٥	٠ر٠
	٥٤	١١	٣ر٣
	٤٧	١٧	١ر١
	٣٨	٢٣	٣ر٠
٣٠	٢٠	—	٣ر٠
	٤٦	٦	٠ر٨
	٣٩	١٢	٣ر٣
	٢	١٩	٠ر٧

الفصل الخامس

الطاقة الجيوحرارية

مقدمة عامة:

الأرض خزان واسع من الحرارة، فهي ومنذ بدأت بالتكون قبل مئات ملايين السنين مازالت تبرد وتفقد حرارتها الجوفية المتجهة الى السطح والى الغلاف الغازي المحيط بالكرة الأرضية، ومعلوم أن جوف الأرض على أعماق تصل الى مئات الكيلومترات يتكون من مواد منصهرة حارة جداً، أما قشرة الأرض الصلبة فانها لا تتعدى عشرات قليلة من الكيلومترات، لكن حتى في هذه القشرة الصلبة مازال هناك الكثير من المناطق التي تثور فيها البراكين وتتفجر منها الينابيع الساخنة بينما يندفع البخار بقوة كبيرة في مناطق أخرى، إن ثورة البراكين واندفاع البخار وتفجر الينابيع الساخنة هي من الأدلة الواضحة والشواهد المادية على وجود مخزون كبير من الطاقة الحرارية في قشرة الأرض الصلبة، وحيث إن باستطاعة الانسان تحويل الطاقة من شكل الى آخر، فان هذا الخزان من الطاقة الحرارية الموجود في قشرة الأرض يمثل مصدرا احتماليا يستطيع الانسان استغلاله لخدمته في أغراضه المختلفة.

عرف الانسان الطاقة الجيوحرارية منذ آلاف السنين واستخدمها في تلبية بعض أغراضه بشكل يتلاءم ومستوى المعرفة التي امتلكها الانسان في ذلك الوقت، ورغم أن الانسان في السابق لم يكن على معرفة بطبيعة هذا

المصدر الحراري وأسبابه الا أنه مع ذلك استطاع التعامل معه وتسخيره لخدمة احتياجاته، وليس أدل على ذلك من حقيقة أن الانسان عرف فوائد الاستشفاء في ينابيع المياه المعدنية ومارسها منذ فترات بعيدة ومازال يمارسها الى وقتنا الحاضر، وقد امتد وجود الينابيع الساخنة عبر معظم مناطق العالم من أوروبا مرورا بالشرق الأوسط وشمال افريقيا الى الهند والصين.

ومازالت هذه الينابيع موجودة وقيد الاستعمال لأغراض السياحة والاستشفاء في أنحاء مختلفة من العالم، فلو نظرنا الى العالم العربي لوجدنا توفر هذه الينابيع في فلسطين والعراق ومصر والجزائر. وأما خارج العالم العربي فهناك وسط أوروبا حيث توجد مثل هذه الينابيع الساخنة في هنغاريا وتشيكوسلوفاكيا، وفي شمال أوروبا توجد في أيسلندة بشكل مكثف، ثم هنالك الولايات المتحدة الأمريكية واليابان والاتحاد السوفيتي ومناطق مختلفة من أمريكا اللاتينية ونيوزيلندة.

لكن اذا كانت استعمالات الانسان لهذا المصدر من الطاقة قد تحددت بمستوى معرفته العلمية وقدراته التكنولوجية، فان التطور العلمي والتكنولوجي الهائل الذي شهده العالم بالاضافة الى ازدياد حاجات الانسان للطاقة قد أديا الى توسيع مجالات استخدام هذا المصدر من الطاقة، ويمكن القول إن توسيع استخدام الانسان للطاقة الجيوحرارية وتكثيفه قد بدأ في أوائل هذا القرن، ففي عام ١٩٠٤ تم بناء أول محطة تستخدم البخار المندفع من باطن الارض لادارة التوربينات لتوليد الطاقة الكهربائية في ايطاليا في منطقة لارديريلو. ثم أخذت استعمالات الطاقة الجيوحرارية بالتوسع وتعددت الأغراض والمجالات التي استخدمت فيها كتدفئة البيوت وتدفئة البيوت الزجاجية لأغراض الزراعة في المناطق الباردة، وفي الخمسينات من هذا القرن تم انشاء محطة كهربائية في نيوزيلندة في منطقة واراكاي حيث تتوفر هناك مصادر للمياه الساخنة في جوف الأرض والتي ما إن تندفع الى السطح حتى يتحول قسم منها الى بخار بفعل انخفاض الضغط عليها،

ويستخدم هذا البخار الناتج في تشغيل توربينات تولد الطاقة الكهربائية، كذلك استعملت المياه الساخنة في نيوزيلندة في تبريد أحد الفنادق، وفي عام ١٩٦٠ تم تشغيل محطة كهربائية تعمل على البخار في كاليفورنيا في الولايات المتحدة الأمريكية. ثم في عام ١٩٦٧ قام الاتحاد السوفيتي بتشغيل محطة كهربائية يستعمل فيها غاز الفريون لتشغيل التوربينات، وكان السبب وراء استعمال الفريون هو أن درجة حرارة المياه الجوفية ليست عالية جدا الى درجة تمكنها من أن تتحول الى بخار حال وصولها الى السطح فكان أن تم استعمال هذه الغازات التي تتبخر على درجات حرارة أقل من درجة غليان الماء، وبذا يتم تبخير هذه الغازات ورفع ضغطها ثم استعمالها بعد ذلك في تشغيل التوربينات وتوليد الطاقة الكهربائية، وهناك محطات لتوليد الطاقة الكهربائية تعمل على مصادر البخار والمياه الساخنة في كل من اليابان والمكسيك وايسلندة، وبالاضافة لتوليد الطاقة الكهربائية فهناك العديد من الاستعمالات المختلفة الصناعية والزراعية والطبية والتي سنأتي على تفصيلها في الصفحات اللاحقة.

لمحة جيولوجية:

من حيث المبدأ تتوفر الطاقة الجيوحرارية في أي مكان في الكرة الأرضية على عمق مئات الأمتار، غير أننا لا نطمع في المستقبل المنظور الاّ باستغلال المناطق الملائمة اقتصاديا والتي يقع استغلالها ضمن القدرات التكنولوجية السائدة، ولذا فمع أن القشرة الأرضية الموجودة في قعر المحيطات تحوي خزانات كبيرة من مصادر الطاقة الجيوحرارية الاّ أننا لا ندخل مثل هذه المناطق في الاعتبار حين الحديث عن الطاقة الجيوحرارية، على الأقل في الوقت الحاضر، وحتى لو توفرت بعض المناطق الملائمة البعيدة جدا عن مراكز استهلاك الطاقة فان بعدها هذا يجعلها أقل جذبا واغراء للاستثمار، ولأن مصادر الطاقة الجيوحرارية موجودة في باطن الأرض فسنلقي نظرة عامة على تركيب الأرض ومصادر الطاقة الجيوحرارية فيها.

الثابت الآن أن الأرض ليست كروية تماما بل تنحو أن تكون أشبه بكرة مفلطحة يأخذ مقطعها العرضي شكلا بيضيا، ويبلغ قطر الأرض عند خط الاستواء ١٢٧٥٦٫٨ كيلومتراً بينما يبلغ طول المسافة بين القطبين الشمالي والجنوبي ١٢٧١٣٫٨ كيلومترا وهو أقل بقليل من طول القطر عند خط الاستواء، وتبلغ مساحة اليابسة على سطح الأرض ١٤٩ مليون كيلومتر مربع، بينما تبلغ مساحة المحيطات والبحار ٣٦١ مليون كيلومتر مربع (١).

ويتفق العلماء على أنه لو أخذنا مقطعا للكرة الأرضية لظهر أنها تتكون من أربعة أقسام متميزة وهي (٢) :ـ

١ ـ القشرة ـ ويبلغ سمكها من ٥ـ ٦٠ كم، وتشكل حوالي ١,٥٪ من حجم الأرض وترتفع درجة الحرارة فيها الى مابين ٥٠٠ـ ١٠٠٠ درجة مئوية، والجدير بالذكر أن مصادر الطاقة الجيوحرارية التي نتكلم عنها موجودة في هذه القشرة.

٢ ـ الوشاح ـ ويقع تحت القشرة ويمتد الى عمق ٢٩٠٠ كيلومتر تقريبا ويشكل حوالي ٨٢,٣٠٪ من مجمل حجم الأرض، وتصل درجة الحرارة فيه الى ٢٥٠٠ درجة مئوية.

٣ ـ اللب الخارجي ـ ويقع تحت الوشاح ويمتد الى عمق ٥١٠٠ كيلومتر.

٤ ـ اللب الداخلي أو المركزي ـ ويشغل القسم المتبقي من الأرض وتصل فيه درجة الحرارة الى حوالي ٣٩٠٠ درجة مئوية. ويبلغ حجم اللب الخارجي والداخلي معا حوالي ١٦,٢٪ من مجمل حجم الأرض. ويتكون اللب الخارجي من مواد منصهرة في حالة سيولة بينما اللب الداخلي صلب.

---

١ ـ Davis, S.N etal, **Geology: Our physical Environment**, McGraw-Hill Book Company, London, U.K., 1976, P. 17.

Davis etal, P. 18

وبسبب ارتفاع درجة الحرارة كلما ازداد عمق المسافة باتجاه مركز الأرض، فان الحرارة تنتقل من الطبقات الداخلية الى الطبقات الخارجية بفعل الفارق في درجات الحرارة ومن ثم تنتقل الى الغلاف الغازي المحيط بالكرة الأرضية، لكن كمية الحرارة التي تنتقل الى الغلاف الغازي قليلة جدا اذا ما قورنت مثلا بكمية الاشعاع الشمسي الساقط على وحدة المساحة ذاتها، ويعزي سبب وجود الحرارة في باطن الأرض الى عوامل الجاذبية وحركة الأرض والى قوى الاحتكاك بين الطبقات الأرضية التي تتحرك وبعضها فوق بعض، ثم وبشكل أكبر الى الاشعاعات الصادرة من المواد المشعة.

وتقول إحدى النظريات العلمية في أصل تكوّن القارات: إن مناطق اليابسة في العالم كانت ملتصقة بعضها مع بعض في قطعة كبيرة واحدة أو قارة واحدة تعرف بالقارة الأم أو غوند واناالاند ، وقد حصلت صدوع وتشققات في بعض مناطق هذه الكتلة الواسعة من اليابسة أدت الى ابتعاد قطع هذه اليابسة بعضها عن بعض وظهور القارات بالشكل الذي نراه حاليا، فهناك مثلا الصدع الممتد على طول المحيط الأطلسي من الشمال الى الجنوب والذي يمر في ايسلندة ويسبب ظهور الحقول البخارية وينابيع المياه الساخنة، ثم هناك الصدع الافريقي الممتد من فلسطين الى شرق افريقيا عبر البحر الأحمر، وهناك صدوع أخرى في المحيط الهادي.

وتلعب هذه الصدوع والتشققات دورا هاما في تكوين البراكين وحصول الهزات الأرضية وتكون مصادر الطاقة الجيوحرارية، إن احتكاك طبقات الارض ضمن القشرة الأرضية بعضها ببعض يؤدي الى انتاج كميات حرارة كبيرة ترفع من درجة حرارة الصخور وخزانات المياه، كما أنها تساعد على عمل شقوق تتيح للأبخرة والمياه الساخنة الوصول الى سطح الأرض، والواقع أننا لو نظرنا الى المناطق التي تتوفر فيها حقول البخار والمياه الساخنة لوجدناها قريبة من أماكن هذه الصدوع.

أنواع الحقول الجيوحرارية:

يمكننا أن نقسم الحقول الجيوحرارية الى ثلاثة أنواع بشكل عام (٣) :-

١ ـ حقول البخار الجاف، حيث تكون الطبيعة الغالبة لهذه الحقول هي وجود خزانات من أبخرة الماء على درجات حرارة عالية وتحت ضغوط عالية أيضا ويعتبر هذا النوع من الحقول أكثر ملاءمة لأغراض توليد الطاقة الكهربائية اذ أن المطلوب لا يتعدى القيام بعمليات الحفر لاتاحة المجال أمام البخار ليندفع بقوة الى السطح، ومن ثم نقل هذا البخار في أنابيب الى التوربينات لتشغيلها وانتاج الكهرباء.

٢ ـ حقول الماء الساخن، حيث يغلب في هذه الحقول توفر الماء الساخن. وقد يوجد الماء على درجات حرارة عالية وتحت ضغوط عالية أيضا مما يسمح في هذه الحالة بارتفاع درجة حرارة الماء الى أكثر من ١٠٠ درجة مئوية دون حدوث الغليان بسبب وجود هذه المياه تحت ضغط عال، اذ المعروف أنه كلما ازداد الضغط الواقع على الماء كلما ارتفعت درجة غليانه، وعليه فقد توجد هذه المياه في خزانات كبيرة وتكون حرارتها مرتفعة وكذلك ضغطها، وحين يرتفع الماء الى السطح ويتعرض الى الضغط الجوي، الذي هو أقل من الضغط المؤثر على الماء في باطن الأرض، فان الماء يتبخر بحكم انخفاض الضغط ويتحول قسم منه الى بخار يمكن دفعه في أنابيب وتوصيله الى التوربينات لتشغيلها وتوليد الكهرباء. أما الماء المتبقي فيمكن استعماله في عدد من الأغراض الأخرى الملائمة وهي كثيرة.

أما النوع الآخر من هذه الحقول فهي تلك التي تحوي مياهاً ساخنة لكنها ذات درجة حرارة أقل من درجة الغليان، وقد توجد هذه المياه تحت ضغوط منخفضة نسبيا بحيث إنها تبقى في حالة السيولة حتى حين وصولها

---

(٣) Berman, E., **"Geothermal Energy"**, Noyes Data Corp., London, U.K., 1975.

الى سطح الأرض. إن مصادر المياه الساخنة هذه لا تحوي البخار ولذلك فمن أجل استعمالها في توليد الطاقة الكهربائية في التوربينات تستخدم لتبخير غازات عضوية مثل الفريون أو الايزوبيوتين ومن ثم تستعمل هذه الغازات في تشغيل توربينات لتوليد الطاقة الكهربائية، وبالاضافة الى توليد الكهرباء فانه يتم حاليا استعمال هذه المصادر من المياه الساخنة في العديد من الدول لأغراض مختلفة صناعية وزراعية وطبية.

٣ ـ حقول الصخور الحارة وتتميز هذه الحقول بكونها لا تحتوي على مياه أو سوائل أخرى تسهل من عملية نقل الحرارة من باطن الأرض الى سطحها. إن هذا المصدر من الطاقة الجيوحرارية هو الأكثر شيوعاً اذ أن درجة حرارة الأرض تزداد مع ازدياد العمق وقد تصل الى عدة مئات من الدرجات المئوية على أعماق لا تزيد عن كيلومترات قليلة، وحيث إن تكنولوجيا الحفر قد شهدت الكثير من التقدم والتطوير بفعل عمليات التعدين وحفر آبار البترول فان مستوى التكنولوجيا الحالي يشكل أرضية صلبة يمكن استغلالها في البحث عن هذه المصادر والوصول اليها واستغلالها. والى الآن لم يتم استغلال هذا المصدر الكبير من الطاقة لكن البحوث جارية لاستغلاله.

إن أحد العوائق الرئيسية في وجه استغلال هذا المصدر هو كيفية نقل الحرارة من باطن الأرض الى سطحها، والفكرة الأكثر قبولا هنا هي ضخ كميات من المياه الى باطن الأرض بحيث تصل الى الصخور الحارة فتسخن وتتبخر ثم تعود الى السطح بخارا يستعمل في توليد الكهرباء.

ويتوفر وجود الصخور الحارة في معظم أنحاء العالم وبشكل خاص في المناطق ذات النشاطات البركانية الحديثة حيث تتواجد مثل هذه الطبقات الصخرية الحارة على مسافة قريبة نسبيا من سطح الأرض، وكما ذكرنا سابقا فرغم أنه لم يتم استغلال هذا المصدر من الطاقة الاّ أن نظرة حسابية

سريعة ستكشف لنا عن المخزون الهائل من الطاقة التي مازال أمام الانسان إمكان استغلالها، فلو أخذنا مثلا طبقة صخرية من الجرانيت حجمها ميل مكعب واحد، ونظرنا الى خصائص هذه الصخور مثل الحرارة النوعية والكثافة ودرجة الحرارة ولو افترضنا ان بالامكان تبريد هذه الصخور ٢٠٠ درجة مئوية، لوجدنا أن كمية الطاقة الحرارية الناتجة تعادل حوالي خمسمائة الف مليون كيلوواط من الطاقة الكهربائية، إن بامكاننا من ثم تقدير الكمية الهائلة من الطاقة المخزونة في الصخور الحارة خاصة اذا ما أخذنا في الاعتبار الأحجام الهائلة من هذه الصخور.

الخصائص العامة للحقول الجيوحرارية:

رغم أن مستوى المعرفة الحالية قد مكننا من تكوين صورة عامة عن الحقول الجيوحرارية الاّ أن هناك الكثير من التفاصيل التي لا نعرف عنها سوى القليل، فنحن لا نعرف الكثير مثلا عن حركة المياه داخل هذه الخزانات وينطبق نفس الأمر على التيارات الحرارية التي تؤدي الى تسخين هذه المياه والتي لا نعرف عنها الكثير. إن معرفتنا المحدودة هذه تشكل أحد العوائق في وجه تحقيق استخدام أمثل لهذه المصادر الحرارية، لكن مع ازدياد معرفة الانسان بالخصائص التفصيلية لهذه الحقول فستزداد بالتأكيد فعالية استخدام الحقول الجيوحرارية واستغلالها، وتصل حدود عدم معرفتنا عن أوضاع الحقول الجيوحرارية الى درجة عدم القدرة على اعطاء تقديرات صحيحة لحجم هذه الحقول وكمية الطاقة المتوفرة فيها، ويلجأ العلماء والأخصائيون في العادة الى الاعتماد على التجربة وعلى المعلومات المتوفرة لديهم عن حقل ما لأعطاء بعض التقديرات عن حجم الحقل والطريقة المثلى لاستغلاله، لكننا رغم ذلك نملك صورة عامة عن الحقول الجيوحرارية، ويمكن القول إن هناك ثلاث خصائص لابد من توفرها في أية منطقة من أجل تكوين حقل جيوحراري، وهذه الخصائص هي (٤):

Berman, E. Op. cit, P. 21.

١ ــ وجود طبقة صخرية صلبة حارة تشكل المصدر الحراري لتسخين المياه، إن مخزون المياه الموجود في باطن الأرض يحصل على حرارته من الصخور الحارة المجاورة، واذا لم تتوفر مثل هذه الصخور فان هذا يعني غياب المصدر الحراري وبالتالي لا ترتفع درجة حرارة المياه، وكما نعلم فان هناك الكثير من مصادر المياه الجوفية التي يستخدمها الانسان في الشرب والزراعة والصناعة لكنها ليست مياهاً حارة وهذا راجع الى أن هذه الخزانات لا تلاصق طبقات صخرية حارة كي تستمد الحرارة منها.

٢ ــ وجود خزان مائي مجاور للطبقة الصخرية الصلبة الحارة بحيث تتوفر الفرصة لانتقال الحرارة من الصخور الحارة الى المياه الأبرد نسبيا من الصخور، وقد يحصل أن يفصل بين الماء وطبقة الصخور الصلبة الحارة طبقة صخرية مسامية تسمح للماء بالنفاذ خلالها للوصول الى مخزون الصخور الحارة، وعند ملامسة المياه للصخور الحارة فانه يسخن وتقل كثافته ويرتفع مرة أخرى الى خزان الماء ويحل بدلا منه ماء أبرد وأعلى كثافة حيث يسخن بدوره وهكذا تستمر الدورة بحيث يسخن ماء الخزّان الجوفي.

٣ ــ وجود طبقة من الصخور غير المسامية فوق خزان المياه تشكل عازلا حراريا وتقلل من تسرب الحرارة من خزان المياه الى سطح الأرض.

إن هذه الخصائص الثلاث هي من المتطلبات الأساسية لتكّون حقول جيوحرارية واذا كان وجود البخار هو السمة الغالبة لهذه الحقول فانها تعرف بالحقول البخارية، أما اذا كان الماء الساخن هو السمة الغالبة فانها تعرف بحقول السوائل. إن الدليل العملي والسهل على وجود مثل هذه الحقول هو وجود ينابيع المياه الساخنة أو اندفاع البخار من باطن الأرض، ومع ذلك فقد توجد الحقول الجيوحرارية في بعض المناطق دون توفر الشواهد العملية على ذلك، أي بغياب وجود الينابيع الساخنة، ولابد في هذه الحالة من القيام بالبحث عن هذه المصادر.

تعتبر الحقول البخارية أكثر الحقول ملاءمة في مجال استخدام الطاقة الجيوحرارية اذ أن استغلال هذه المصادر لا يتطلب سوى نقل البخار في أنابيب وتنقيته من الشوائب العالقة ومن ثم استخدامه في محطات توليد الطاقة الكهربائية. وأفضل الأمثلة على هذه الحقول محطات توليد الطاقة الكهربائية في لاريد يريلو في ايطاليا والكيزرز في كاليفورنيا وماتسوكاوا في اليابان، وأما حقول الماء الساخن ذات الحرارة العالية والضغط العالي فان البخار يتولد بسبب انخفاض الضغط على هذه المياه حين وصولها الى السطح، وفي العادة يتحول حوالي ٢٠٪ من هذا الماء الى بخار بينما يبقى القسم الآخر بشكل ماء على درجة الغليان يمكن استخدامه في العديد من الأغراض.

تقديرات الطاقة الجيوحرارية المخزونة:

إذا كان هناك من ضرورة لتقدير كميات الطاقة الجيوحرارية المخزونة فان ذلك يعود بشكل رئيسي الى حقيقة أن هذه الطاقة ليست متجددة ولا دائمة، وهي بذلك تشبه مصادر الطاقة الأخرى مثل الفحم والبترول والغاز لكنها تختلف عن المصادر المتجددة مثل الطاقة الشمسية والطاقة الهوائية وطاقة المد والجزر وأمواج البحار والمحيطات، ونتيجة لكون هذه الطاقة مصدرا قابلا للاستنزاف والنفاذ فلابد للانسان من معرفة مدى مساهمتها في تلبية متطلباته في المستقبل، وتختلف تقديرات العلماء والاخصائيين حول كمية المخزون من هذه الطاقة بسبب النقص في المعلومات الضرورية للقيام بمثل هذا التقدير. وحتى لو قام الانسان بتقدير المخزون من هذه الطاقة في يومنا هذا فان تقديراته ستكون معتمدة بالتأكيد على مستوى معرفته الحالية وعلى قدراته التكنولوجية المتوفرة.

لكن علينا ملاحظة ان المعرفة البشرية والقدرات التكنولوجية تتزايد وتتطور باستمرار ولذا فان التقديرات المبنية على الوقائع المعاصرة قد لا تكون صحيحة في المستقبل، ثم هناك الجانب الاقتصادي في العملية اذ أن تقدير

الطاقة الجيوحرارية المتوفرة يأخذ في الاعتبار حساب التكاليف لاستغلال هذه الطاقة، غير أن التكاليف الاقتصادية تتغير اعتمادا على تطور القدرات التكنولوجية وامكانية استغلال هذه المصادر بشكل رخيص، كذلك وتدخل في الاعتبار تكاليف مصادر الطاقة الأخرى وجدوى استغلال الطاقة الجيوحرارية، نتيجة لذلك فان علينا قبول التقديرات الحالية بالكثير من الحذر، وأن نقبلها مقرونة بقدرات الانسان التكنولوجية الحالية، إن تقدير المخزون من الطاقة الجيوحرارية تذكر المرء بالتقديرات المختلفة عن احتياطي البترول، فقد كانت هناك تقديرات منذ أواخر القرن الماضي تقول بأن المخزون النفطي لن يكفي الا لسنوات قليلة ومع ذلك فبعد قرن من الزمان مازال النفط مصدرا مهما للطاقة، وقد شهد العالم تطورات واسعة في مجال البحث عن الحقول النفطية وتطويرها، سواء تطوير تكنولوجيا الحفر للوصول الى أعماق بعيدة في باطن الأرض أو استخراج النفط من قعر المحيطات في مناطق تمتاز بقسوة الطقس وشدة أمواج البحر كما هو الحال في بحر الشمال.

وهناك بعض التقديرات بأن مصادر الطاقة الجيوحرارية المتوفرة في الولايات المتحدة الأمريكية قادرة على توليد الف مليون ميغاواط لمدة خمسين عاما، ومع تطور التكنولوجيا واكتشاف المزيد من الحقول الحرارية فانه يتوقع أن يصبح بالامكان توليد ما يعادل ٣ ـ ٦ الف مليون ميغاواط لمدة خمسين سنة أخرى، ولكن هناك تقديرات أكثر تفاؤلا تقدر أن المصادر المتوفرة حاليا في أمريكا تزيد من خمس الى عشر مرات على التقديرات السابقة.

على كل فهما كانت قيمة التقديرات الحالية لمصادر الطاقة الجيوحرارية ومهما كانت صحة هذه التقديرات فان هناك مجموعة من العوامل المهمة التي ستؤثر في اعطاء تقديرات مستقبلية عن الكميات المتوفرة ومن هذه العوامل:

١ ــ حصول تطورات مهمة في المجال التكنولوجي تمكن الباحثين من اكتشاف حقول جديدة وتطوير الحقول الموجودة بحيث تكون النتيجة زيادة كمية الطاقة الموجودة حاليا والمحتملة مستقبلا.

٢ ــ تطوير طرق ووسائل وأجهزة جديدة للحفر تجعل من الممكن اكتشاف الحقول الجيوحرارية وتطويرها واستخراج الطاقة بتكاليف اقتصادية معقولة حتى ولو كانت مصادر الطاقة هذه موجودة على أعماق كبيرة، إن وسائل الحفر الموجودة حاليا تمكننا من الوصول الى عمق ٦ كيلو مترات ومع حدوث تطورات تكنولوجية أخرى فليس غريبا أن تتوفر القدرة للوصول الى أعماق أبعد وبالتالي الى مصادر أخرى

٣ ــ ايجاد الحلول الناجعة للمشكلات الناتجة عن وجود مخلفات كيماوية في البخار والمياه الحارة المعدنية، إن التخلص من هذه المخلفات يعني رفع كفاءة استخدام المصادر الحالية وبالتالي توليد كمية من الطاقة أكبر.

٤ ــ تطوير أنظمة توليد الطاقة التي تعمل على الغازات العضوية وزيادة كفاءتها مما سيجعل بالامكان استعمال خزانات المياه ذات الحرارة المنخفضة نسبيا في ادارة وتشغيل التوربينات لتوليد الطاقة الكهربائية.

٥ ــ التوسع في استعمال الطاقة الجيوحرارية في الأغراض الأخرى غير توليد الكهرباء، فهناك الكثير من المجالات التي يمكن استعمال المياه الساخنة فيها سواء أكانت أغراضاً زراعية كتدفئة البيوت الزجاجية أو أغراضا طبية أو صناعية كما في صناعة الورق والنسيج.

٦ ــ زيادة معرفة الانسان بالطبيعة الجيولوجية والهيدرولوجية لهذه المصادر، وزيادة معرفته بخصائص وطرق انتقال الحرارة في هذه المصادر في باطن الأرض مما سيؤدي بالنتيجة الى زيادة كفاءة استخدام هذه المصادر.

وبالاضافة الى تكوين صورة عامة عن كمية المخزون من الطاقة الجيوحرارية، فان القيام بتقدير طاقة الحقول بشكل فردي أمر ضروري لمعرفة حجم المنشآت التي يتم بناؤها ومعدل استغلال هذه الحقول، فالمحطات الكهربائية التي تعمل على الطاقة الجيوحرارية في الوقت الحاضر صغيرة الحجم في الغالب وتتراوح طاقتها الانتاجية ما بين ٥٠ — ٤٠٠ ميغاواط، وهناك أسباب عديدة لصغر حجم محطات الطاقة الكهربائية هذه، فهناك مثلا حقيقة أن البخار المندفع من باطن الأرض يكون على درجات حرارة وضغوط أقل من البخار المستعمل في المحطات التي تعمل على الغاز أو النفط، ويؤدي هذا الى ضرورة تركيب توربينات ذات أحجام كبيرة تتلاءم مع خصائص البخار المندفع من باطن الأرض، كذلك فان البخار المندفع من الأرض يخرج بكميات محدودة وقد تكون قليلة نسبيا بحيث لايمكنها توليد سوى كمية محدودة من الطاقة الكهربائية، ومن أجل التغلب على مثل هذا العائق فانه يتم اللجوء في العادة الى حفر عدة آبار وتجميع البخار المندفع فيها في خط أنابيب واحد يقوم بتغذية محطة كهربائية واحدة، لكن مثل هذا الأمر لايخلو من مشكلاته الخاصة اذ أن نقل البخار في الأنابيب ولمسافات طويلة سيؤدي الى تقليل ضغطه بفعل عوامل الاحتكاك والتكثيف وفقدان الحرارة عبر الأنابيب الى الأجواء المحيطة، وفي المحطات القائمة حاليا تتم تغذية محطة توليد الكهرباء من مجموعة من الآبار المحفورة على مسافة قريبة من المحطة، ويتراوح عدد الآبار التي تغذي محطة واحدة من ١٠ — ٣٠ بئرا.

من المحتمل أن تتغير الصورة الحالية لمحطات الطاقة الكهربائية التي تعمل على البخار من باطن الأرض، فمع تقدم تكنولوجيا الطاقة الجيوحرارية وتوفر امكانات استغلال الصخور الحارة قد تتوفر القدرة على توليد بخار ذي ضغط عال ودرجة حرارة عالية مما يؤدي الى انشاء محطات كهربائية ذات قدرات عالية، كذلك فمن المتوقع أن تتغير الصورة الحالية لمحطات توليد الطاقة

الكهربائية مع زيادة التطويرات في الأنظمة التي تعمل على الغازات العضوية اذ يمكن في هذه الحالة ضخ كميات كبيرة من المياه تحوي كميات كبيرة من الحرارة أكثر مما يحوي البخار المدفوع في أنابيب ذات احجام مماثلة. ان هذا الأمر يعني توفر كمية أكبر من الحرارة للاستخدام في توليد الطاقة الكهربائية مما قد يساعد في توسيع أحجام المحطات الانتاجية.

استخدام الطاقة الجيوحرارية:

كما ذكرنا سابقا، تتوفر الطاقة الجيوحرارية بشكل مخزون حرارة في المياه الساخنة أو الأبخرة أو الصخور الحارة، وتتركز الاستخدامات الحالية لمصدر الطاقة هذا على حقول المياه الساخنة والبخار الحار بينما مازالت حقول الصخور الحارة قيد الدرس والبحث والتطوير، ان وجود الطاقة على شكل مخزون مياه ساخنة وأبخرة يعني توفر العديد من مجالات الاستخدام لهذا المصدر، ففي الكثير من مجالات استخدام الطاقة البترولية يجري حرق المنتجات البترولية لانتاج المياه الساخنة أو الأبخرة واستعمالها من ثم في العديد من الأغراض، وحيث إن الطاقة الجيوحرارية موجودة في الأصل بشكل مياه ساخنة وأبخرة فان استعمالها لا يتطلب سوى أعمال الحفر والوصول الى هذا المصدر لاتاحة المجال أمام المياه أو الأبخرة للوصول الى السطح ومن ثم استعمالها بشكل مباشر دون الحاجة الى الدخول في حلقات وسيطية.

يبلغ استعمال العالم من الطاقة الجيوحرارية في المجالات كافة ما يعادل ٣٦٠٠ ميغاواط، ولكي نعطي القارىء صورة عن مبلغ هذا الاستعمال نقول إن هذا الرقم يقل قليلا عن ضعف توليد الطاقة الكهربائية في الكويت خلال فصل الصيف حيث يصل هذا الى أكثر من ٢٠٠٠ ميغاواط، وعلى ذلك يمكننا تبيّن أن الطاقة الجيوحرارية مازالت تشكل نسبة ضئيلة جدا من مجمل الاستخدام العالمي من الطاقة، ومن المؤكد أن زيادة مساهمة هذا المصدر في تلبية احتياجات الانسان سيعتمد على مدى التطورات

التكنولوجية وأعمال البحث التي ستجري مستقبلا.

ويمكننا تقسيم الاستخدامات الحالية للطاقة الجيوحرارية الى قسمين رئيسيين هما:

١ ـ الاستخدامات الكهربائية:

ونقصد بذلك استخدام الطاقة الجيوحرارية في توليد الطاقة الكهربائية سواء بواسطة البخار الجاف أو البخار الرطب أو استعمال الغازات العضوية، ويبلغ انتاج العالم من الطاقة الكهربائية من المصادر الجيوحرارية حوالي ١٣٦٢ ميغاواط وهو مايعادل ثلث الاستعمال العام تقريبا، ويتوزع انتاج الطاقة الكهربائية في العالم على الشكل التالي (٥).

جدول رقم (١)

انتاج الطاقة الكهربائية من المصادر الجيوحرارية

البلـــد	كمية الطاقة الكهربائية/ ميغاواط
اليابان	٧٠ر ـــ
الاتحاد السوفيتي	٥ر٨
الولايات المتحدة الأمريكية	٥٢٢
ايطاليـــا	٤٢٠ر٦
السلفـــادور	٦٠ر ـــ
ايسلندة	٢ر٨
نيوزيلندة	٢٠٢ر٢
المكسيك	٧٨ر٥
تركيـــا	٠ر٥
المجمـــوع	١٣٦٢ر٤

٥ ـ Armstead, H.C.H., **Geothermal Energy,** John Wiley and Sons, N.Y., U.S.A., 1978, P. 143.

نلاحظ من **الجدول رقم (١)** أن أمريكا هي أكثر الدول استخداما للطاقة الجيوحرارية في توليد الكهرباء، ويليها بعد ذلك كل من ايطاليا ونيوزيلندة، والواقع أن امريكا كانت الى وقت قريب تحتل المرتبة الثانية بعد ايطاليا في مجال انتاج الكهرباء من الطاقة الجيوحرارية، الا أنه يبدو أن أزمة الطاقة أدت الى تكثيف الجهود لاستغلال المصادر الأخرى ومنها الطاقة الجيوحرارية، أما بالنسبة لايسلندة فرغم أن مصادر البخار والمياه الساخنة تتوفر بكثرة الا أن انتاج الكهرباء لم يحتل مكانا مهما في مجمل استعمالات الطاقة الجيوحرارية هناك، ويعود السبب في ذلك الى أمرين: الأول هو توفر مصادر طاقة بديلة تتمثل بالمصادر الكهرومائية والثاني هو أن التركيز على استعمال الطاقة الجيوحرارية يتم في حقول أخرى مثل تدفئة المنازل وتسخين البيوت الزجاجية الزراعية، لكن وحيث ان ايسلندة قد وصلت حدود استخدام معظم مصادرها من الطاقة الكهرومائية، فالأغلب ان يتم التركيز مستقبلا على استخدام الطاقة الجيوحرارية في توليد الطاقة الكهربائية.

٢ ـ الاستخدامات غير الكهربائية:

ويندرج تحت هذا النوع من الاستخدامات الكثير من المسائل الطبية والزراعية والصناعية. ففي ايسلندة تستعمل المياه الساخنة في تدفئة البيوت بشكل رئيسي، اذ في العام ١٩٧٤ كان حوالي ٥٠٪ من سكان ايسلندة يعتمدون على الطاقة الجيوحرارية في تدفئة منازلهم ومن المتوقع أن ترتفع هذه النسبة في عام ١٩٧٩ الى ٦٠٪ ثم الى ٧٠٪ في عام ١٩٨٠، وهناك الاستخدامات الزراعية حيث تم تدفئة ١٤٠ دونما من البيوت الزجاجية الزراعية في عام ١٩٧٤، وفي نيوزيلندة تدخل مصادر البخار والماء الساخن في صناعة الورق وتجفيف الأخشاب وأعمال التدفئة والتبريد، وفي تشيلي تستخدم في تحلية المياه المالحة وفي أعمال التعدين في مناجم النحاس، أما

في هنغاريا فانها تستعمل في تدفئة المنازل والمستشفيات والمصانع وتدفئة البيوت الزجاجية الزراعية وتجفيف المحاصيل وبعض الأغراض الصناعية كصناعة الأغذية والمنسوجات والسيراميك والورق، أما في الفلبين فهناك خطط لاستعمال المصادر الجيوحرارية في انتاج الملح وفي الاتحاد السوفيتي تستعمل في تدفئة المنازل واذابة الجليد عن الطرقات، وفي كينيا يستعمل البخار المندفع من الأرض في تجفيف المحاصيل، وفي الجزائر تستعمل الينابيع الساخنة في الأغراض الطبية، وفي الولايات المتحدة تستعمل في أعمال التدفئة والتبريد.

يبلغ استعمال العالم من المصادر الجيوحرارية في مجالات الاستعمال غير الكهربائية حوالي ٢٢٧٦ ميغاواط أو مايعادل ضعف كمية الطاقة الكهربائية المنتجة من هذا المصدر، وان كان هناك من سبب لتفوق الاستعمالات غير الكهربائية على الانتاج الكهربائي فذلك لأن هناك العديد من المجالات التي يمكن استخدام الماء الساخن أو البخار فيها بشكل مباشر، فتدفئة المنازل مثلا لا تحتاج سوى تنقية مياه الينابيع الساخنة ومن ثم ضخها في أنابيب وتوزيعها على البيوت والمصانع والمستشفيات، وكذلك الأمر بالنسبة لتدفئة البيوت الزجاجية الزراعية أو تجفيف المحاصيل، والسبب الآخر وراء زيادة الاستعمالات غير الكهربائية هو أن الكثير من مصادر الطاقة الجيوحرارية توجد على شكل ينابيع مياه ساخنة درجة حرارتها أقل من درجة الغليان وبالتالي لا يتيسر استعمالها في توليد الكهرباء الا باستعمال التوربينات التي تعمل على الغازات العضوية بدل البخار. ولذا فقد يكون المناسب في هذه الحالة استعمال المياه الساخنة في الأغراض الأخرى عدا توليد الكهرباء لأن الأمر في النهاية لا يعدو أن يكون توفير الطاقة بأشكالها المختلفة لخدمة أغراض الانسان العديدة.

تتوزع الاستعمالات غير الكهربائية لمصادر الطاقة الجيوحرارية في عدة مجالات هي الطب والسياحة تليها الزراعة فالتدفئة فالاستعمالات الصناعية.

ويقدم الجدول رقم (٢) صورة عن توزيع الاستعمالات هذه في دول العالم المختلفة (٦).

جدول رقم ٢
الاستعمالات غير الكهربائية للطاقة الجيوحرارية
الأرقام بالميغاواط

البلد	زراعية	طبية وسياحية	صناعية	تدفئة	المجموع
اليابان	٣٣٩ر٥٧	٦٢٨ر٧٩	٥٦ر٧٨	٢٧ر٦٨	١٠٥٢ر٨٢
الاتحاد السوفييتي	٢٣٣ر٧١	١١٦ر٠٣	١١ر٤٤	٧١ر٠٤	٤٣٢ر٢٢
الولايات المتحدة الأمريكية	٥ر٦	٠ر٣٩	—	٨ر٣٣	١٤ر٣٢
ايطاليا	٠ر٦	—	—	—	٠ر٦٠
هنغاريا	١٢٥ر٣٩	٢٣٢ر٤٩	٢١ر٠٦	١٠ر٢٤	٣٨٩ر١٨
ايسلندة	٣٩ر٩٥	—	١٧ر٧٢	٢٥٤ر٠٤	٣١١ر٧١
نيوزيلندة	—	—	٤٣ر٣٣	٣٢ر٢٣	٧٥ر٥٦
المجموع	٧٤٤ر٨٢	٩٧٧ر٧	١٥٠ر٣٣	٤٠٣ر٥٦	٢٢٧٦ر٤١

إن الأرقام المدرجة في الجدولين تعطي صورة عن الاستعمال العالمي للطاقة الجيوحرارية في منتصف السبعينات، وحيث إننا نشرف على نهاية هذا العقد فمن المتوقع أن تكون هذه الاستعمالات قد ازدادت خاصة وأن وطأة ارتفاع أسعار الطاقة من المصادر الأخرى لابد الاّ وأن تكون قد حفزت على التوسع في اسخدام المصادر المتاحة، ولو نظرنا الى نسب استعمال الطاقة الجيوحرارية لوجدنا أن انتاج الكهرباء يحتل المرتبة الأولى بنسبة ٣٣ر٢٪ تليها الاستعمالات الطبية والاستجمام والسياحة بنسبة ٢٨ر٧٪، ثم

٦ـ Geothermal World Directory 1975/76, K.F. Meadows, California, U.S.A., 1976, P. 173.

استخدام الطاقة الجيوحرارية في الأغراض الزراعية وتحتل المرتبة الثالثة بنسبة ٢١٫٩٪، ثم تدفئة المنازل بنسبة ١١٫٨٪، فالاستعمالات الصناعية التي تحتل المرتبة الأخيرة بنسبة ٤٫٤٪.

مشكلات الطاقة الجيوحرارية:

مصادر الطاقة المختلفة لها مشكلاتها المختلفة والخاصة بكل نوع منها، فالصعوبات التي تعترض استغلال أحد هذه المصادر تختلف عن صعوبات استغلال المصدر الآخر، كذلك فان ما نعتبره مشكلة يجب حلها في أحد هذه المصادر قد لا يكون له وجود البتة في عمليات استغلال المصدر الآخر، فلو نظرنا الى الطاقة الشمسية والهوائية مثلا لوجدنا أن الطبيعة التناوبية لتوفر هذه المصادر تشكل أحد الجوانب التي يجري التركيز عليها في محاولة لدراسة أفضل الوسائل والسبل لتجنب الآثار الناتجة عن تناوبية توفر هذه المصادر، فنحن نعلم أن الشمس تشرق أثناء النهار فقط وأن اشعاعاتها الساقطة على مكان ما على سطح الأرض تتغير بتغير الفصول، وكذلك الأمر بالنسبة للطاقة الهوائية حيث إن سرعة الهواء واتجاهاته ليست ثابتة وبالتالي فان الطاقة الناتجة ليست ثابتة أيضا مما يتطلب التفكير الجدي لايجاد وسائل لخزن الطاقة أثناء توفرها ثم اعادة استعمالها وقت الحاجة، إن مثل هذه المشكلات ليست موضع بحث عند الحديث عن استغلال الطاقة الجيوحرارية لأن خزان الطاقة هنا كبير وهائل ويمكن التحكم بكمية الطاقة المراد استخراجها ضمن المعطيات الطبيعية للحقل.

والطاقة الجيوحرارية لها مشكلاتها الخاصة أيضا، والواقع أن هذه المشكلات تختلف باختلاف نوعية الحقول الحرارية، فالمشكلات الموجودة في حقول البخار والماء الساخن تختلف عن مشاكل حقول الصخور الحارة، ومشكلات الصخور الحارة الصلبة تختلف عن مشكلات الصخور الحارة المسامية، ولتسهيل الأمر سنناقش مشكلات حقول البخار والمياه الساخنة على حدة ثم نتبعها بنقاش مشكلات الحقول الصخرية الحارة.

مشكلات حقول البخار والمياه الساخنة

١ ــ مشكلات البحث .

طرق البحث عن مصادر المياه الساخنة والأبخرة تشبه تلك المستعملة في البحث عن البترول، الاّ أن البحث عن المصادر الجيوحرارية أكثر صعوبة لأن الدلائل التي قد تشير الى وجود خزانات من البخار والماء الساخن لا تعطي حكما قطعيا الا بعد القيام بالحفر والتأكد من وجود مثل هذه المصادر، كما أن وجود هذه الدلائل لا يعطي حكما قطعيا عن مدى حجم الخزان الحراري، وتتضمن عمليات البحث الأولية في العادة القيام بحفر عدة آبار على أعماق تصل الى مئات الأقدام وذلك من أجل اجراء الاختبارات على طبيعة تركيب التربة وتوزيع درجات الحرارة في الأرض والبحث عن الدلائل الأخرى التي قد تشير الى وجود مصادر حرارية، وتجري عمليات البحث هذه في المناطق التي تتوفر فيها دلائل أولية على امكان وجود مصادر حرارية كتوفر ينابيع المياه الساخنة أو تصاعد البخار من باطن الأرض، أو في المناطق التي تعطي فيها الدراسات السطحية دلائل على توفر مثل هذه المصادر كالدراسات الجيوكيماوية للمياه الطبيعية والمقاومة الكهربائية للأرض في المنطقة المذكورة ودراسة الهزات الأرضية التي تعرضت أو تتعرض لها تلك المنطقة.

٢ ــ مشكلات الحفر :

تبدأ أعمال الحفر لاستغلال هذه المصادر الحرارية بعد توفر الشواهد والأدلة على وجود مثل هذه المصادر، ولأعمال الحفر في الحقول الحرارية مشكلاتها الخاصة، فالأدوات المستعملة حاليا في حفر الحقول الحرارية هي ذات الأدوات التي تم تطويرها طوال تاريخ البحث والتنقيب عن البترول وحفر آباره، واذا كانت هذه الأدوات ملائمة للحقول البترولية فالأمر ليس كذلك في الحقول الحرارية اذ تواجه هذه الآلات درجات حرارة عالية في

الطبقات الأرضية الجوفية وتواجه أيضا ضغوطا عالية تحد من فعاليتها بل ومن صلاحيتها للحفر. كذلك يندفع الماء الساخن أو البخار أثناء عمليات الحفر، ويكون محملا بمواد كيماوية مختلفة تعمل على تآكل أدوات الحفر وتقليل فعاليتها، ومايحصل في أعمال الحفر بحثاً عن المصادر الحرارية حاليا هو أن عمق البئر يتحدد بالعمق الذي يحصل عنده خلل في أدوات الحفر وليس نتيجة لخطة موضوعة مسبقا، وعليه يمكننا رؤية أهمية تطوير معدات حفر تتلاءم مع ظروف المصادر الحرارية من حرارة عالية وضغط عال، الأمر الذي سيؤدي الى زيادة كفاءة استغلال هذه المصادر.

٣ ـ المشكلات العلمية :

المشكلة هنا أن معرفتنا بما يجري في المصادر الحرارية في باطن الأرض قليل، فمعلوماتنا عن حركة المياه وتياراتها داخل الخزانات قليلة وكذلك أيضا معرفتنا بطرق انتقال الحرارة وتياراتها في باطن الارض. إن نقص المعلومات هذا يعني في النهاية عدم القدرة على تطوير نماذج نظرية تجعل من الممكن تحديد الحالة المثلى لعدد الآبار مثلا وطريقة توزيعها والأبعاد بين بعضها والبعض الآخر، وأي الآبار يجب حفره في البداية وبأي ترتيب ثم أي معدلات انتاج يجب الالتزام بها من أجل اطالة عمر استغلال الخزان الحراري بصورة فعالة، إن الطرق المستعملة في وقتنا الحاضر تعتمد على الخبرات المحلية أكثر من اعتمادها على المفاهيم العلمية الصحيحة، ولذا فان تطوير المعرفة بخصائص الخزانات الحرارية سيعني زيادة كفاءة استخدامها.

٤ ـ مشكلات التلوث :

هناك مصدران رئيسيان للتلوث في الحقول الحرارية البخارية أو المائية وهما: التلوث الحراري وخروج الغازات غير القابلة للتكثيف اذ من المعروف أنه يخرج مع البخار من باطن الارض غازات غير قابلة للتكثيف تحت نفس الظروف التي يتكثف فيها البخار، وتختلف نسبة هذه الغازات من ٥ر ـ ٥٪

من كمية البخار المتصاعد، وتتكون هذه الغازات بدرجة رئيسية من أول أوكسيد الكربون، كذلك هناك غاز كبريتيد الهيدروجين والامونيا والميثانول، والمعروف ان لغاز كبريتيد الهيدروجين علاوة على سميته رائحة منفرة وإذا تجمع في كميات كبيرة فقد يشكل خطرا على حياة الانسان والحيوانات، كذلك هناك امكان أن تتجمع الغازات الثقيلة في الأماكن المنخفضة مما يؤدي الى أخطار محتملة على النبات والحيوان، ومن جهة أخرى هناك أخطار التلوث الحراري خاصة اذا تم التخلص من البخار على درجات حرارة عالية أو اذا تم التخلص من المياه الساخنة بضخها الى سطح الأرض أو ضخها الى البحيرات أو أماكن تجمع الماء مما قد يؤدي الى تعريض الأحياء البحرية من حيوان ونبات الى الخطر، إن التخلص من هذه الأخطار يقتضي اعادة حقن البخار أو المياه في باطن الأرض مرة أخرى لكن هذه العملية تطرح مشكلات التكلفة الاقتصادية وتوفر التكنولوجيا الملائمة.

مشكلات الحقول الصخرية الحارة:

المشكلة الرئيسية هنا هي عدم وجود المياه أو أية سوائل أخرى تعمل على نقل الحرارة من باطن الأرض الى السطح، لكن من الجانب الآخر فان مشكلات الحفر في الصخور الحارة أقل منها في حالة الحقول البخارية أو المائية، ذلك أن أدوات الحفر لن تواجه المشكلات الناجمة عن الضغوط العالية أو تدفق تيارات المياه الحارة القوية.

من المعروف أن الصخور هي من الموصلات الرديئة للحرارة، ولذا فان انتقال الحرارة من الطبقات الصخرية الجوفية الحارة الى الطبقات الأبرد نسبيا عملية بطيئة، ومن أجل الحصول على أكبر مقدار من الحرارة من الصخور يستلزم الأمر استخراج الحرارة من مساحة كبيرة من الصخور للتعويض عن انخفاض قدرات الصخور على توصيل الحرارة، ويستلزم هذا بدوره ضخ كميات كبيرة من الماء لتغطية السطح الواسع من الصخور، وبعد استخراج المياه الى السطح واستعمالها في الأغراض المطلوبة يعاد

ضخها مرة أخرى الى باطن الأرض للحصول على كمية حرارة أكبر وهكذا دواليك، ومن أجل استخراج الحرارة من الصخور فقد تم تقديم عدة أفكار.

إذا كانت الصخور الحارة الجافة من النوع المسامي وتقع تحت طبقة من الصخور الصلبة اللامسامية فان المطلوب في هذه الحالة هو اختراق طبقة الصخور الصلبة للوصول الى الطبقة المسامية الحارة، يتم حفر عدة آبار في مثل هذه الحقول يستعمل بعضها لضخ الماء البارد بينما يجمع البخار أو الماء الساخن من بعضها الآخر، إن كون الصخور الحارة مسامية يسمح للماء بالنفاذ خلالها والتسرب عبر مساحات حارة واسعة مما يؤدي الى استخراج الحرارة، ولا يحتاج الأمر هنا الى أية زيادة في السطوح الحرارية اذ أن الطبيعة المسامية للصخور تعوض عن ذلك.

أما حين تكون الطبقة الصخرية من النوع الحار الصلب اللامسامي فلابد والحالة هذه من زيادة مساحة سطح انتقال الحرارة لأن صلابة الصخور وعدم مساميتها تمنع الماء من التسرب عبر مساحات كبيرة، ويقتضي الأمر في هذه الحالة انتاج مساحات واسعة من السطوح الحارة، والطرق المقترحة في هذا المضمار هي اجراء تفجيرات تحت سطح الأرض في هذه الصخور لتفتيتها وإحداث الشقوق والتصدعات التي تسمح للماء بالتسرب الى مساحات كبيرة. غير ان استعمال مواد التفجير التقليدية يجعل من استخراج الحرارة أمرا مكلفا، ولذا فقد تم اقتراح القيام بتفجيرات نووية من أجل إحداث تشققات في الصخور.

لا يخفى على القارىء أن اللجوء الى مثل هذا الأسلوب محفوف بالمخاطر الكثيرة الناتجة عن التلوث النووي المحتمل، فالاشعاعات النووية قد تنفذ الى سطح الأرض وتعرض البشر والحيوانات والنباتات الى الخطر. كذلك فان المياه المحقونة في الأرض لاستخراج الحرارة ستحمل اشعاعات نووية وتنقلها الى السطح أيضا، ورغم أن بعض المهتمين يقول بأن المياه المستعملة سيعاد ضخها مرة أخرى الى باطن الأرض الا أن هذا لا يمنع من

امكان حدوث تسربات للاشعاعات النووية، والجدير بالذكر أن التفجير النووي نفسه سيشكل مصدرا حراريا يضاف الى المصدر الحراري الصخري، لكن مازال استعمال الطاقة النووية محاطا بالكثير من الشكوك والمعارضة بسبب الأخطار الكامنة فيه.

وهناك بديل آخر مازال تحت البحث والاستقصاء وهو استعمال مياه تحت ضغوط عالية وحقنها في الطبقات الصخرية لأحداث شقوق فيها، والمعروف أن هذه الطريقة مستعملة في صناعة البترول حيث تضخ المياه لأجل زيادة مسامية الطبقات المحتوية على البترول مما يؤدي الى زيادة في استخراج البترول.

تقوم فكرة استعمال المياه المضغوطة على حفر حفرة في الطبقة الصخرية الصلبة ثم تعريض جوانب هذه الحفرة الى ضغوط عالية مما يؤدي الى احداث تشققات في جوانب الحفرة تسمح للماء بالنفاذ الى مساحات واسعة من السطوح الحارة، ويتوقع بعض العلماء أن ضخ المياه سيؤدي الى تبريد الطبقات الصخرية التي تلامسها مما سيؤدي بدوره الى تكوين وضع تكون فيه بعض الصخور حارة والأخرى باردة، وسينتج عن هذا الوضع حدوث اجهادات حرارية عالية في الصخور تؤدي بدورها الى احداث المزيد من التشققات، وبمعنى آخر فان العملية تعيد انتاج ذاتها بشكل دوري فكلما بردت طبقة من الصخور أدى ذلك الى حصول المزيد من التشققات.

ويجري في الوقت الحاضر العمل على مثل هذه الفكرة في مختبرات لوس الموس العلمية في نيو مكسيكو في الولايات المتحدة (٧). وقد دلت التجارب التي أجريت إلى الآن أنه بالامكان احداث تشققات كبيرة في الصخور الجرانيتية فيما اذا تم ضغط المياه الى ١٠٠ ضغط جوي فأكثر، وستكشف السنوات القادمة عن مدى فعالية هذه الطريقة في استخراج الطاقة الجيوحرارية من الصخور الحارة الصلبة.

٧— Mortensen, J. J., Energy, Vol. 3, 1978, P. 639.

الفصل السادس

مصادر أخرى للطاقة البديلة

تطرقنا في الفصول السابقة الى المصادر الرئيسية للطاقة البديلة، ورأينا أن بعض هذه المصادر هي حاليا قيد الاستعمال بينما بعضها الآخر مازال في مرحلة البحث والتجارب، وباستثناء الطاقة الجيوحرارية فان المصادر الأخرى، كالطاقة الهوائية والطاقة الحرارية في البحار وطاقة المد والجزر مصادر دائمة ومتجددة، وبالنسبة للمصادر الدائمة والمتجددة فقد رأينا كيف أنها ترتبط جميعا بالشمس.

وسنتطرق في هذا الفصل الى مصدرين آخرين للطاقة هما التمثيل الضوئي في النباتات وما ينتج عنه من مواد يمكن استخدامها كمصادر للطاقة، والهيدروجين باعتباره وقود المستقبل، إن لهذين المصدرين علاقة وثيقة بالشمس، فالتمثيل الضوئي في النباتات يقوم على امتصاص أشعة الشمس وتحويلها الى روابط كيماوية تربط عناصر الكربون والأوكسجين والهيدروجين معا وتحولها الى مواد كربوهيدراتية، وتتشكل المواد الكربوهيدراتية بأشكال مختلفة وتستخدم كأغذية تعيش عليها الكائنات الحية من حيوان وانسان، كما أن المواد الهيدروكربونية التي هي النفط والغاز وكذلك المواد الكربونية التي هي الفحم نجمت عن تحول المواد الكربوهيدراتية في أزمان سحيقة وتحت ظروف خاصة فقدت الأولى الأوكسجين وفقدت الثانية الأوكسجين والهيدروجين.

وسيتضح من عرضنا اللاحق ان بالامكان استخدام أي مصدر من

مصادر الطاقة لانتاج الهيدروجين بما في ذلك الطاقة الشمسية، غير أن هناك بعض الطحالب المائية التي ينتج عن عملية التمثيل الضوئي فيها الهيدروجين مباشرة.

التمثيل الضوئي:

يمكن القول أنه لولا التمثيل الضوئي لما وجدت الحياة على الأرض بشكلها الحالي، اذ يؤدي التمثيل الضوئي وظيفتين أساسيتين هما: الحفاظ على التوازن في تركيب الغلاف الغازي المحيط بالأرض وبخاصة ذلك التوازن بين الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون، وانتاج الطعام للكائنات الحية، صغيرها وكبيرها وسواء أكانت على سطح الأرض أم في البحار.

يشكل ضوء الشمس مصدر الطاقة في عملية التمثيل الضوئي، فتقوم أوراق النباتات بامتصاص أشعة الشمس وثاني أوكسيد الكربون من الجو، وتستخدم طاقة الضوء الممتصة في تحليل قسم من الماء الموجود في الأوراق الى مكوناته الأصلية، أي الى الأوكسجين والهيدروجين، بعد ذلك يتم تفاعل الهيدروجين مع ثاني أوكسيد الكربون لانتاج الكربوهيدرات بينما ينطلق الأوكسجين الى الجو.

ان عملية التمثيل الضوئي معقدة جدا والمرجح أنها ليست مفهومة بشكل كامل إلى الآن. لكن من أجل تبسيط العملية، توضع معادلة التمثيل الضوئي بالشكل التالي:

ثاني أوكسيد الكربون+ماء+طاقة ضوئية ــــــ كربوهيدرات+أوكسجين

تستفيد النباتات من جزء قليل من طاقة أشعة الشمس في عملية التمثيل الضوئي، ونتيجة لهذا الواقع، فان كفاءة النباتات في تحويل طاقة الشمس الى طاقة مفيدة منخفضة جدا فهي لا تتعدى ١٪ في أفضل

الأحوال، أما في التجارب المختبرية فان هذه الكفاءة ترتفع لتصل الى حوالي ٦٪ (١).

وتقوم النباتات بتحويل 10^{21} جول من الطاقة الشمسية الساقطة على الأرض، وهو ما يعادل حوالي واحد بالألف من مجمل الاشعاع الشمسي الساقط على الأرض الاّ أن هذه النسبة الضئيلة جدا تعادل عشرة أضعاف ما استهلكه العالم من الطاقة في عام ١٩٧٤ (٢). وبامكاننا الاستنتاج بأن كمية الطاقة الشمسية الساقطة على الأرض تعادل على الأقل عشرة آلاف مرة من مقدار استهلاك العالم من الطاقة.

تؤدي عملية التمثيل الضوئي الى انتاج الطعام لكل الأحياء على الأرض بشكل مباشر أو غير مباشر، فهناك أحياء تتغذى على النباتات فقط وهناك أحياء أخرى تتغذى على الحيوانات، كما أن هناك مخلوقات كالانسان تتغذى على النباتات والحيوانات، غير أن الحيوانات التي يتغذى عليها الانسان والحيوانات المفترسة تتغذى على النباتات مما يعني أن النباتات هي المصدر الأساسي لغذاء الأحياء.

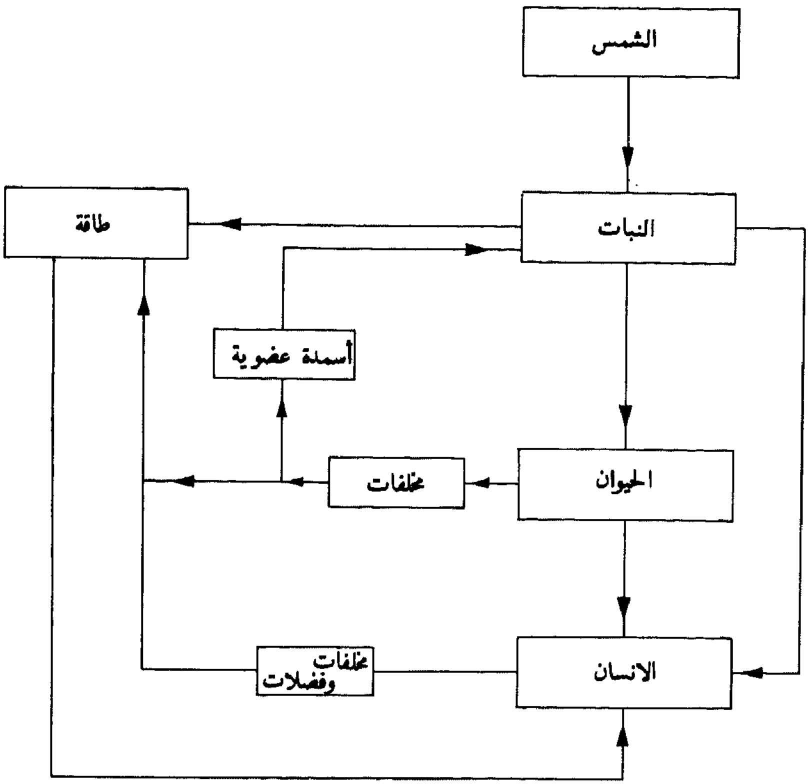
ان انتاج الطاقة هو موضع اهتمامنا في هذا الفصل وليس انتاج الغذاء رغم أن الغذاء طاقة للأحياء. ان هذا لا يعني اغفال موضوع انتاج الغذاء والاقلال من أهميته، غير أننا سنقصر اهتمامنا على موضوع الطاقة الناتجة عن عملية التمثيل الضوئي.

نقدم في الشكل رقم (١) مخططا هيكليا عن انتاج الطاقة بواسطة التمثيل الضوئي. فالشمس ــ كما ذكرنا ــ هي مصدر الطاقة في عملية التمثيل الضوئي. والنباتات الخضراء تقوم بعملية التمثيل الضوئي. ويستخدم جزء من النباتات في عملية الاستهلاك المباشر بواسطة الانسان أو

---

١ – Quercia, I.F. "Bio Couversion of Solar Energy", First International Symposium an non-Convertional Energy, Trieste, Italy, 1979.

٢ ـ المصدر السابق.



شكل رقم (١)
مخطط هيكلي لانتاج الطاقة بواسطة التمثيل الضوئي

الحيـوانات، بينما يستخدم جزء آخر في عمليات صناعية. غير أن هناك قسما من النبـاتات يحتوي على نسبة عالية من المواد الكربوهيدراتية مثل قصب السكر والبطاطا الحلوة والمنيهوت (Cassava) وهو نبات يستخرج من جذوره النشاء. والمواد الكربوهيدراتية في هذه النباتات هي موضع اهتمامنا لأنـه بالامكـان تحويلها بواسطة التخمير أو عمليات كيماوية أخرى الى كحول يمكن استعماله كمصدر للطاقة لانتاج الكهرباء أو في وسائط النقل.

وأما بالنسبة لتلك النباتات التي يستهلكها الانسان والحيوان فان دورها لا ينتهي عند حد الاستهلاك، اذ يتحول جزء من النباتات المستهلكة الى بروتينات ودهون وتتبقى فضلات بعد عملية الهضم تحوي مواد عضوية يمكن الاستفادة منها في انتاج الميثان الذي يصلح كوقود كغيره من أنواع الوقود المعروفة، اضافة الى ما تقدم هناك النفايات والقمامة التي يطرحها الانسان والتي تحتوي على مزيج من المواد العضوية وغير العضوية، ولو نظر أحدنا الى كيس النفايات الذي يطرحه خارج بيته لوجد فيها خليطا من المواد من بينها مواد عضوية كالدهون وبعض الخضراوات، إن النفايات التي تشكل عبئا ماليا على كاهل المجالس البلدية في جمعها من البيوت ونقلها الى أماكن التجميع، يمكن أن تستخدم كمصدر للطاقة أيضا سواء كان ذلك بواسطة الحرق مباشرة أو باحدى عمليات تحليل المواد العضوية وانتاج الميثان. وفي الصفحات التالية من هذا الجزء سنتطرق الى مصادر الطاقة التي ذكرناها بالترتيب التالي:ـ

١ ــ محاصيل الطاقة.

٢ ــ انتاج الغاز من مخلفات الحيوانات.

٣ ــ الطاقة من القمامة والنفايات.

محاصيل الطاقة:ـ

المقصود بمحاصيل الطاقة هي تلك النباتات التي يمكن تحويل منتجاتها الى وقود يستخدم كمصدر للطاقة. ومن بين النباتات المهمة في هذا المجال هناك قصب السكر والمنيهوت والذرة السكرية والبطاطا الحلوة والنباتات التي تنتج منها الزيوت، وهذا لا يعني أن النباتات الأخرى لا تصلح كمحاصيل للطاقة، غير أن امكان الاستفادة منها أقل من التي ذكرنا.

وحين نتكلم عن محاصيل الطاقة فاننا لا نهمل حقيقة أن بالامكان استعمال النباتات نفسها كوقود، لقد كانت الأخشاب وأغصان الأشجار مصدر الطاقة الأساسي للانسان قبل اكتشاف الفحم والبترول، وإلى الآن مازال هناك الكثيرون ممن يعيشون في الأرياف يعتمدون على الأخشاب وأغصان الأشجار كمصادر للطاقة سواء لتسخين المياه أو الطبخ أو تدفئة البيوت، ولما كانت النباتات بأكملها هي نتاج عملية التمثيل الضوئي اضافة الى بعض العناصر الكيماوية التي تحصل عليها النباتات من التربة، فإنه يمكننا القول إن عملية التمثيل الضوئي كانت مصدر الطاقة الأساسي للانسان خلال عصور طويلة.

ولسنا هنا لنعيد اكتشاف «كروية الارض» أو للقول بأنه يمكن استعمال الأخشاب كمصدر للطاقة وذلك بحرقها في المواقد، كل ما يهمنا هنا هو الاشارة الى الامكانات المتوفرة لزراعة بعض المحاصيل التي يمكن تحويل منتجاتها الى وقود يستعمل في وسائط النقل أو توليد الكهرباء أو غيرها.

إن من البدهيات أن زراعة أي محصول مهما كان نوعه يحتاج الى بيئة ملائمة تتمثل في توفر تربة خصبة ومياه ودرجات حرارة مناسبة، واذا ما فقد أحد هذه العناصر فان ذلك سيؤثر على امكان زراعة المحاصيل أو على

انتاجيتها، وبالطبع هناك ضرورة أن يتوفر العنصر البشري القادر على استغلال المعطيات الطبيعية وتطويعها بالشكل الذي يتلاءم مع احتياجاته.

وتتوفر الخصائص الطبيعية الملائمة لانتاج محاصيل الطاقة سالفة الذكر في المناطق المدارية، شمال وجنوب خط الاستواء، فهذه المناطق تتمتع بتربة خصبة وبمياه وفيرة وبدرجات حرارة عالية، الامر الذي يجعلها ملائمة لانتاج هذه المحاصيل بكفاءة عالية.

تعتبر البرازيل من الدول الرائدة في مجال انتاج محاصيل الطاقة، ويعود تاريخ انتاج الكحول في البرازيل الى فترة الحرب العالمية الأولى، ومنذ ذلك التاريخ جرت التجارب على امكان استعمال الكحول كوقود للسيارات بعد مزجه بالبنزين، ففي عام ١٩٣٠ صدر قرار في البرازيل جعل من مزج البنزين بالكحول امرا اجباريا، غير أن توفر البترول بأسعار رخيصة أدى بالكحول الى التراجع الى الصفوف الخلفية تماما كما حصل مع مصادر الطاقة الأخرى (تباطؤ البحوث في الطاقة الشمسية، اضمحلال أهمية الطاقة الهوائية وتراجع دور الاخشاب والاشجار كمصدر للطاقة). وعاد الاهتمام بانتاج كحول الايثانول مرة أخرى بعد عام ١٩٧٣ حين أخذت أسعار النفط بالارتفاع، وكان من نتيجة الاهتمام بانتاج الكحول أن عاد استعماله كوقود لوسائط النقل بعد مزجه مع البنزين، ففي عام ١٩٧٨ كان معدل نسبة الكحول في وقود السيارات في البرازيل يساوي ٨ر٨٪، ومن المتوقع أن ترتفع النسبة الى ٣ر١٤٪ في عام ١٩٧٩ (٣).

إن ما يحدد أهمية أي من محاصيل الطاقة هو كمية الطاقة النهائية من المحصول، وحيث إننا نتكلم عن المحاصيل فان العوامل المؤثرة في كمية الطاقة الناتجة هي كمية المحصول الناتج من وحدة المساحة المزروعة من الأرض وكمية المواد الكربوهيدراتية الموجودة في وحدة الوزن من المحصول ثم

---

٣ — Internal Power Generation, Vol. 2 No. 1, 1979.

كمية الطاقة المطلوبة لتحويل منتجات المحاصيل الى كحول، إن العلاقة بين هذه المتغيرات معا هي التي تقرر أفضلية هذا المحصول على غيره، ونود الاشارة هنا الى أهمية العامل الأخير وهو كمية الطاقة المستهلكة في زراعة المحاصيل بشكل عام. لقد أدت الثورة التكنيكية في قطاع الزراعة الى تحقيق معدلات عالية جدا من الانتاج خاصة في بلد مثل الولايات المتحدة الامريكية. ومن الثابت الآن أن هذه الانتاجية العالية ماكان يمكن تحقيقها بدون الطاقة البترولية الرخيصة التي تدخل في العملية الزراعية بشكل أسمدة كيمياوية أو بشكل طاقة مستهلكة في سلسلة المكائن ووسائط النقل المستعملة في الزراعة من خطواتها الأولى حتى تصل المادة الزراعية الى المستهلك، وتذكر بعض المصادر (٤) أنه في مقابل كل وحدة طاقة يحصل عليها النبات بواسطة التمثيل الضوئي يتم استهلاك اربع وحدات من الوقود الأحفوري (فحم، بترول، غاز) بشكل أسمدة ومصادر استهلاك أخرى للطاقة.

في الجدول رقم (١)نقدم قائمة ببعض محاصيل الطاقة وهي قصب السكر والمنيهوت والذرة السكرية (السرغوم)، ويتضح من الجدول المذكور أن قصب السكر هو أفضل هذه المحاصيل انتاجا للطاقة تليه الذرة السكرية فالمنيهوت. كذلك يتضح من الجدول أن انتاج قصب السكر في وحدة المساحة يعادل أربعة أمثال انتاج المنيهوت، غير أن الأخير يمتاز بانتاج كمية اكبر من الكحول في وحدة الوزن. لكن، لو نظرنا الى تأثير العاملين معا لوجدنا أن قصب السكر ينتج كمية من الكحول اكبر من المنيهوت، وهناك ملاحظة جديرة بالتنويه في الجدول المذكور اذ لو أننا أهملنا الطاقة الموجودة في فضلات قصب السكر والذرة السكرية ونظرنا الى كمية الطاقة النهائية دون أخذ طاقة الفضلات بعين الاعتبار لوجدنا أن كمية الطاقة للمحاصيل

---

٤ انظر كذلك
Quercia, I.F.,
George, S, **How the other half Dies** Pelican Books, England, 1979.

جدول رقم (١)
ميزان الطاقة في محاصيل الطاقة المستعملة في انتاج الكحول

المحصول	الانتاج السنوى من المحصول طن/هكتار	الانتاج السنوى من الكحول لتر/هكتار	الطاقة فى المحصول/ميغاكالورى/هكتار/سنة			الطاقة المستهلكة فى انتاج الكحول ميغاكالورى/هكتار/سنة			الميزان
			الكحول	الفضلات	المجموع	طور الزراعة	طور الصناعة	المجموع	
قصب السكر	٥٤	٣٥٦٤	١٨٧٤٧	١٧٥٥٠	٣٦٢٩٧	٤٢٢٦	١٠٨١٤	١٥٠٤٠	٢١٢٥٧
المنيهوت	١٤ر٥	٢٥٢٣	١٣٢٧١	-	١٣٢٧١	٢٧٥٣	٨٨٨٣	١١٦٣٦	١٦٣٥
الذرة السكرية	-	٢٧٧٥	١٩٨٥٦	١١٨٣٠	٣١٦٨٦	٤٦٦٧	١١٨٨٣	١٦٥٥٠	١٥١٣٦

عن International Power Generation, Vol. 2 No. 1, 1979.

الثلاثة هي على الترتيب ٣٧٠٧ و ١٦٣٥ و ٣٣٠٦ ميغاكالوري، على ذلك فان الاستفادة من طاقة الفضلات امر بالغ الاهمية لرفع كمية الطاقة النهائية التي يمكن الحصول عليها من قصب السكر أو الذرة السكرية.

يتم انتاج الكحول من السكر بواسطة عملية التخمير حيث يتحول سكر الجلوكوز الى الايثانول وثاني اوكسيد الكربون كما في المعادلة التالية (٥):

$$C_6 H_{12} O_6 \longrightarrow 2C_2 H_5 OH + 2 CO_2$$

سكر جلوكوز ←—— ايثانول + ثاني أوكسيد الكربون

١٨٠غم ٩٢غم

٦٧٣ كيلو كالوري ٦٥٥ كيلو كالوري

يتضح من المعادلة السابقة أن تخمير الجلوكوز يؤدي الى انتاج كمية من الايثانول يعادل وزنها حوالي نصف وزن الجلوكوز الأصلي دون أن يؤدي ذلك الى تخفيض كمية الطاقة بشكل ملموس، إن تخمير ١٨٠ غرام من الجلوكوز تحتوي على ٦٧٣ كيلو كالوري من الطاقة يؤدي الى انتاج ٩٢ غرام من الايثانول تحتوي على ٦٥٥ كيلو كالوري، والكحول الناتج من عملية التخمير هذه يمكن استعماله مباشرة في مكائن الاحتراق الداخلي بالشكل نفسه الذي نستعمل به البنزين، ان استعمال الكحول في السيارات يقتضي اجراء بعض التعديلات البسيطة في جهاز مزج الوقود بالهواء (الكاربوريتر) بحيث يتم تبخير سائل الايثانول قبل دخوله الى اسطوانات الحرق.

انتاج الغاز من مخلفات الحيوانات:

ان الاستفادة من مخلفات الحيوانات ليست بالامر الجديد، فلقد استعمل الانسان، ومازال، مخلفات الحيوانات كأسمدة للتربة في الوقت الذي لم يكن باستطاعته صناعة الاسمدة الكيماوية، والى ذلك فقد استعملت

٥ Otvos, J.W., "**Production of Biomass by photo synthesis and others**", First International Symposium on non-Conventional Energy, Trieste, Italy, 1979.

مخلفات الحيوانات أيضا لانتاج الطاقة وذلك بحرقها مباشرة، ومن بين الاستعمالات الأخرى دخول المخلفات في بعض عمليات البناء المحددة.

والآن حيث يعيش العالم وهاجس استنزاف مصادر الطاقة الأحفورية مع ارتفاع أسعارها عما كانت عليه يقلق باله فقد عاد الاهتمام مرة أخرى بمخلفات الحيوانات باعتبارها مصدر طاقة، لقد كان أمرا مألوفا في السنوات القليلة الماضية أن يتحمل صاحب مزرعة حيوانات أو السلطات البلدية في المدن المصاريف الطائلة للتخلص من المخلفات، غير أنه من المتوقع أن تتغير الصورة في المستقبل بحيث إن هذه المخلفات ستصبح مصدر توفير حينما يتم استخدامها لانتاج غاز الميثان.

من ضمن العناصر التي تحويها مخلفات الحيوانات هناك الكربون والهيدروجين والنيتروجين، الكربون والهيدروجين هما من المكونات الاساسية والرئيسية في معظم انواع الوقود المتعارف عليه، أما النيتروجين فهو ما تحتاجه النباتات، على هذا فان مخلفات الحيوانات تصلح كمصدر للطاقة وكسماد للنباتات في ذات الوقت، إن استعمال مخلفات الحيوانات كسماد فقط يعني هدر الطاقة المتوفرة فيها والتي يمكن الحصول عليها بسهولة.

ان الحصول على غاز الميثان من مخلفات الحيوانات ليس بالأمر الشائع في وقتنا الحاضر رغم أن هذه المسألة شهدت بعض الاهتمام في ثلاثينات وأربعينات القرن الحالي، واذا كان العالم الصناعي لم يبد اهتماما واسعا بانتاج الميثان من مخلفات الحيوانات فان هذا ليس بالضرورة هو واقع الدول الأخرى، فهناك الكثير من القرى الهندية التي مازالت تنتج غاز الميثان من مخلفات الحيوانات وتستعمله لأعمال تسخين المياه والطبخ، أما في الصين فقد حظى الأمر باهتمام واسع نتيجة للعدد الكبير من الحيوانات (المدجنة) ونتيجة للطابع الجماعي في الحياة الريفية الصينية، وتكمن أهمية النقطة الأخيرة في أن انشاء جهاز لانتاج كمية من الميثان تكفي لعائلة يحتاج الى مخلفات خمسة حيوانات، من هنا فان جدوى انشاء أجهزة انتاج الميثان

تعتمد الى حد كبير على طبيعة العلاقات السائدة في القرى مثلا ودرجة التعاون بين السكان لجمع المخلفات وتوزيع الغاز، إن مثل هذه المشكلات لن تواجه صاحب مزرعة يمتلك آلاف الرؤوس من الأبقار وغيرها اذ ستتوفر لديه كميات كبيرة من المخلفات وسيستطيع بالتأكيد بيع القسم الأكبر من الغاز الناتج.

يتم انتاج غاز الميثان من مخلفات الحيوانات بواسطة طريقة تدعي «الهضم اللاهوائي Anaerobic Digestion ». اذ توضع مخلفات الحيوانات في وعاء يدعي الهاضم ولا يسمح للأوكسجين بالدخول الى حيث توجد المخلفات، فتقوم البكتيريا بتحليل المخلفات في جو خال من الأوكسجين و يكون الناتج غاز الميثان وأكاسيد الكربون، ثم يجمع الغاز الناتج من عملية تحلل المخلفات في خزان،ومن ثم يستعمل في الاغراض المطلوبة. يبلغ حجم الغاز المنتج من المخلفات ما يعادل ١٫٥ ــ ٢٫٥ من حجم الهاضم نفسه، فلو افترضنا أن حجم الهاضم يبلغ الف ليتر فان حجم الغاز الناتج يبلغ حوالي الف وخمسمائة الى ألفين وخمسمائة ليتر من الغاز، وتختلف نسبة الميثان في الغاز الناتج اعتمادا على نوع المخلفات المستعملة غير أن النسبة تتراوح بشكل عام ما بين ٦٠ ــ ٧٠٪.

وتحتوي المخلفات التي تبقي بعد انتاج الغاز على النيتروجين، وهو الذي تحتاجه النباتات، لذلك فان مخلفات عملية الهضم اللاهوائي تستعمل أسمدة للنباتات في المزارع، وبهذا الشكل يمكن الاستفادة من مخلفات الحيوانات باعتبارها مصدر طاقة ومصدر أسمدة في ذات الوقت.

تعتبر الابقار من افضل الحيوانات في مجال انتاج الغاز من المخلفات اذ ان مخلفات البقرة الواحدة في اليوم الواحد تنتج ما يساوي ١٢٠٠ ليتر من الغاز، اما بالنسبة للخنازير فهي تنتج ١٤٠ ليتراً بينما تنتج مخلفات الدجاجة الواحدة ٩ ليترات فقط ، وفي **الجدول رقم (٢)** نقدم قائمة بانتاج الغاز من مخلفات هذه الحيوانات.

جدول رقم (٢)

انتاج الغاز من مخلفات الحيوانات

الانتاج باللیترات من مخلفات الحيوان ليوم واحد

الحيوان	حجم الغاز الناتج	نسبة الميثان في الغاز	القيمة الحرارية في ليتر من الغاز/ كيلو جول
بقرة حلوب	١٢٠٠	٥٩٪	٢٢
خنزير	١٤٠	٦٨٪	٢٥
دجاجة	٩	٦٨٪	٢٥

المصدر International Power Generation, Vol. 2, No. 1, 1979.

ان من بين الصعوبات الفنية التي يفرضها غاز الميثان هناك مسألة الخزن، إذ أن خزن الميثان مسألة تختلف عن خزن الغازات العضوية الأخرى كالبروبين والبيوتين، فمن اجل تخفيض حجم الميثان بصورة ملموسة يجب ضغطه الى ما يعادل ٢٠٠ ضغط جوي، واذا ماأريد الاحتفاظ به بشكل سائل فلابد من تبريده، إن اللجوء الى واحدة من الطرق السابقة لخزن الميثان يعني استعمال الضاغطات أو أجهزة التبريد التي تحتاج الى طاقة كي تعمل، ويؤدي هذا بالطبع الى تقليل الفائدة الكلية من انتاج الميثان. كما أن اللجوء الى خزن الغاز دون ضغط أو تبريد يعني ضرورة بناء خزانات كبيرة الحجم وهو ما يستدعي استثمارات أولية عالية، لذلك فان من الضروري استهلاك اكبر كمية من غاز الميثان الناتج حال خروجها من الماضم مع الاحتفاظ بخزان مناسب لتلبية أية زيادة طارئة في الطلب على الطاقة.

الطاقة من القمامة والنفايات:

ينتهي أمر مسألة القمامة بالنسبة للفرد العادي حين يطرح كيس القمامة خارج باب بيته، أما ما يحصل بعد ذلك فهو ليس من مسؤوليته بل يقع على عاتق السلطات المحلية التي تجند جيشا من عمال التنظيفات مهمتهم جمع هذه الأكياس ونقلها في سيارات الى أماكن التجميع حيث يجري التخلص منها بطريقة أو بأخرى. وتتزايد أكوام القمامة في المدن الكبيرة نظرا لكثرة عدد السكان وارتفاع الاستهلاك وتنوعه، وتواجه السلطات المحلية في هذه المدن مشكلة التخلص من أكوام القمامة التي أخذت تحتل مساحات واسعة من الأراضي خارج المدن، ولا يخفى أن جمع النفايات وطرحها على أطراف المدن واحتلالها لمساحات واسعة من الاراضي يشكل عبئا ماليا على كاهل السلطات المسؤولة في أية مدينة، وبالاضافة الى ما تقدم، فان أكوام القمامة هي مصدر احتمالي لانتشار الأمراض لان أكوام القمامة تشكل بيئة ملائمة لتكاثر الفئران والصراصير والبكتريا.

تعرف القمامة باسم «الخام المدني» باعتبار أن مشكلة القمامة ظهرت مع توسع المدن وظهور الصناعات، وكان بالامكان التخلص من كميات القمامة القليلة التي كانت تنتجها القرى في الأرياف وذلك بقذفها في العراء أو استعمالها كأسمدة للأرض، لكن الآن تتجمع كميات كبيرة من القمامة في الدول الصناعية وبخاصة تلك التي تتمتع بمعدلات استهلاك عاليه يرافقه تبذير في طريقة استعمال المواد المختلفة، سواء كان ذلك في الصناعات أو في الاستهلاك البشري، ففي بلد مثل بريطانيا يبلغ وزن القمامة المتجمعة سنويا حوالي ٢٠ مليون طن، أما في الولايات المتحدة الامريكية فان الرقم يرتفع ليصل الى حوالي ٢٠٠ مليون طن سنويا، علما بأن عدد سكان الولايات المتحدة الامريكية لا يزيد عن خمسة أضعاف عدد سكان بريطانيا.

وتقول بعض التقديرات إن كمية الطاقة التي يمكن الحصول عليها من عشرين مليون الطن قمامة في بريطانيا تعادل طاقة حوالي ستة ملايين طن من الفحم، وتشكل كمية الطاقة هذه حوالي ٥٪ من استهلاك محطات توليد الطاقة الكهربائية في بريطانيا. أما بالنسبة للولايات المتحدة الامريكية فان التقديرات المتوفرة تقول: إنه بالامكان انتاج ١٠٪ من متطلبات محطات توليد الطاقة الكهربائية من الوقود فيما لو استعملت كمية القمامة المتجمعة في ذلك البلد لأغراض انتاج الطاقة.

وفي الواقع هناك بعض المدن التي بدأت في استغلال القمامة لتوفير جزء من متطلباتها من الطاقة، ففي مدينة فرانكفورت في المانيا الغربية يجري انتاج حوالي ٧٪ من استهلاك المدينة من الكهرباء بواسطة حرق أكوام القمامة ونقل الطاقة الناتجة الى محطات توليد الكهرباء، وتحصل مدينة امستردام على حوالي ٦٪ من احتياجاتها من الطاقة الكهربائية بواسطة حرق القمامة، أما في مدينة فينا ــ عاصمة النمسا ــ فان القمامة تستعمل في انتاج البخار للأغراض الصناعية، وفي تورنتو ــ في كندا ــ تم استعمال فكرة الاستفادة من القمامة كمصدر للطاقة في تصميم احدى العمارات التي تضم ٣٠٠ شقة، وتقوم الفكرة على جمع القمامة التي يطرحها سكان العمارة وحرقها في مرجل مركزي لتسخين المياه للاستعمالات المنزلية.

وهناك طرق عديدة للحصول على الطاقة من القمامة والنفايات منها:

١ــ طريقة الحرق المباشر:

وتعتمد هذه الطريقة على بناء محارق خاصة لحرق القمامة والنفايات واستخدام الحرارة الناتجة في تسخين المياه أو انتاج البخار الذي يمكن استعماله بعد ذلك في تشغيل التوربينات وتوليد الطاقة الكهربائية.

ان هذه الطريقة رغم بساطتها الا أنها ليست الطريقة الفضلى ولا

المثلى للاستفادة من أكوام القمامة، إن حرق كميات القمامة الكبيرة يحتاج الى محارق كبيرة الحجم تكون في العادة مكلفة من الناحية الاقتصادية، كما أن ضمان حرق كمية النفايات كلها يحتاج الى تقليب القمامة داخل المحارق بشكل مستمر، وهناك أيضا مسألة كفاءة المحارق التي تكون في العادة منخفضة لأن قسما من الحرارة يتسرب الى الخارج عبر الدخان المنبعث من المداخن، واضافة الى ذلك، فإن الدخان المنبعث من المداخن يؤدي الى تلويث الأجواء المحيطة.

إن استعمال طريقة الحرق المباشر يضع قيودا على استعمال الطاقة المتولدة فالطاقة الحرارية الناتجة عن عملية الحرق لا يمكن نقلها من مكان الى آخر بل يجب استعمالها في المحطة نفسها وذلك بتسخين المياه أو انتاج البخار لتشغيل التوربينات، لذا فمن أجل التغلب على هذه التغييرات يجري التفكير باللجوء الى العمليات الكيماوية لاستخراج بعض أنواع الوقود من النفايات. ان الوقود الناتج عن مثل هذه العمليات الكيماوية يمكن خزنه أو نقله واستعماله حسب الحاجة.

٢ــ طريقــة الهدرجــــة:

هذه احدى الطرق الكيماوية المستعملة في استخراج زيوت الوقود من القمامة، والهدرجة هي عملية اختزال كيماوي القصد منها استخراج الأوكسجين من المخلفات العضوية وبخاصة السيلولوز الذي يشكل أحد العناصر الرئيسية في هذه المخلفات. يتركب السيلولوز من الأوكسجين والهيدروجين والكربون، وحين يتم التخلص من الأوكسجين يتبقى عنصرا الكربون والهيدروجين وهما أساسيان في الوقود.

يتمثل الجانب العملي في عملية المدرجة في وضع المخلفات العضوية وأحد العوامل المساعدة مثل كربونات الصوديوم في مفاعل، ويجري بعد ذلك ادخال بخار الماء وأول أوكسيد الكربون الى المفاعل تحت ضغط

يعادل ١٠٠ ــ ٢٥٠ ضغط جوي ودرجة حرارة تتراوح ما بين ٢٤٠ ــ ٣٨٠ درجة مئوية. تستمر هذه العملية حوالي ساعة واحدة ينتج عنها تحويل الهيدروجين والكربون الى زيوت نفطية.

وينتج عن عملية الهدرجة هذه انتاج برميلين من زيوت المحروقات لكل طن واحد من المخلفات والنفايات، لكن حيث إن عملية الهدرجة نفسها تحتاج الى حرارة وأول أوكسيد الكربون من أجل اتمام التفاعل فان الناتج النهائي لهذه العملية يعادل حوالي ١٫٢٥ برميل زيت لكل طن من القمامة، والزيوت الناتجة من عملية الهدرجة هي من نوع الزيوت البرافينية الثقيلة التي تحوي بعض الأوكسجين والنيتروجين وقليلا جدا من الكبريت، وتبلغ الطاقة الحرارية للرطل الواحد من هذه الزيوت حوالي ١٥ الف وحدة حرارية بريطانية.

٣ــ التحلل الحراري:

هذه الطريقة ليست سوى «طبخ» النفايات في جو خال من الأوكسجين حيث يتم في البداية تجفيف النفايات للتخلص من الماء الموجود فيها، ومن ثم تقطع الى قطع صغيرة، ويكون قد تم فصل المواد العضوية عن غير العضوية، بعد ذلك تدخل النفايات العضوية الى وعاء مقفل ولا يسمح للهواء بالدخول الى داخله. وتسخن النفايات الى درجة حرارة تعادل حوالي ٥٠٠ درجة مئوية حيث تحلل المواد العضوية، وينتج من هذه العملية برميل زيت واحد لكل طن واحد من النفايات، والى جانب ذلك ينتج حوالي ١٦٠ رطلا من الفحم وبعض الغازات الاخرى ذات القيمة الحرارية المنخفضة، ويستعمل الفحم والغاز كوقود لتوليد الحرارة المطلوبة للتفاعل.

لايجري في هذه العملية التخلص من الأوكسجين الموجود في السيلولوز ولذا فان الزيت الناتج يحتوي على نسبة عالية من الأوكسجين تصل الى

حوالي الثلث. أما النيتروجين والكبريت فانهما موجودان بنسبة قليلة، وبسبب نسبة الأوكسجين العالية في الزيت الناتج فان القيمة الحرارية لهذا الزيت تكون منخفضة وتبلغ حوالي ١٠٥٠٠ وحدة حرارة بريطانية للرطل الواحد.

ان من مزايا عملية التحلل الحراري انها لا تؤدي الى أية آثار تلويثية وبذلك فانها أكثر قبولا من طريقة الحرق المباشر. كذلك تكون الزيوت والغازات الناتجة اكثر ملاءمة للخزن والنقل والاستعمال عند الحاجة.

ان استخدام القمامة كمصدر للطاقة لن يؤدي الى تلبية بعض متطلبات الانسان من الطاقة فقط بل ستقدم أيضا حلا لمشكلة تراكم القمامة التي تشكل عبئا ماليا على كاهل السلطات البلدية في المدن كما تحتل مساحات واسعة من الأراضي يمكن استغلالها في الزراعة أو لأغراض التوسع المدني المختلفة.

الهيدروجين:

يحظى الهيدروجين باهتمام واسع كوقود مستقبلي وكوريث لأنواع الوقود المعروفة في عصرنا خاصة البترول والغاز، ففي عدد ١٥ ــ ١٦ سبتمبر ١٩٧٩ نشرت جريدة الهيرالد تريبيون خبرا رئيسيا في صفحتها الأولى بعنوان «البحث عن الطاقة يتحول نحو الهيدروجين» تطرقت فيه الى آخر التطورات في مجال انتاج الهيدروجين واستخداماته، إن للاهتمام بالهيدروجين كوقود مستقبلي ما يبرره، فلو افترضنا أن مصادر البترول والغاز قد انتهت تماما ولم يتبق منها شيء فما هو الوقود الذي يمكن أن يحل محلها لتسيير كافة أنواع وسائط النقل البرية والبحرية والجوية؟ ثم ما هو الوقود الذي سيحل محل الغاز المستعمل في تدفئة البيوت وفي المطابخ؟ اذا نظرنا حولنا في محاولة للاجابة على هذه الأسئلة فاننا لن نجد أفضل من الهيدروجين.

ان للهيدورجين كوقود مزايا عديدة بالمقارنة بمزايا أنواع الوقود المتوفرة ومصادر الطاقة البديلة التي تحدثنا عنها، فالهيدروجين مثلا يحتوي على أكبر كمية من الطاقة في وحدة الوزن مقارنة بالمحروقات الأخرى. فالقيمة الحرارية في كيلوغرام واحد من البنزين تبلغ ٤٧٢٠٠ كيلو جول، بينما في الديزل تبلغ ٤٥٨٠٠ كيلو جول اما كيلو غرام واحد من الهيدروجين فانه يحتوي على ١٤٢٠٠٠ كيلو جول، أي ما يعادل أكثر من ثلاثة امثال القيمة الحرارية لأي من البنزين أو الديزل، غير أن الوضع يختلف حين نتحدث عن القيمة الحرارية في الاحجام، فكمية الحرارة في حجم معين من الهيدروجين تعادل أقل من ثلث كمية الحرارة في ذات الحجم من البنزين أو الديزل، لكن هذه العقبة ليست بالأمر الخطير بل يمكن معالجتها كما سنرى لاحقا.

من بين مزايا أنواع الوقود المستعملة الحالية أنه يمكن نقلها بوسائل مختلفة سواء في صهاريج أو خطوط أنابيب مما يسهل ايصالها الى المستهلكين ويجعل منها مادة مرغوبة للاستهلاك. والهيدروجين ايضا يمكن نقله سواء بشكل سائل أو غاز وسواء كان ذلك في صهاريج أو في خطوط أنابيب مما يجعله وقودا مقبولا ويجعل التعامل معه أمرا مرنا. ان خطوط الأنابيب التي تقوم حاليا بنقل الغاز يمكن استخدامها لنقل الهيدروجين دون أية مشكلات تذكر، ونتيجة لانخفاض كثافة الهيدروجين وانخفاض لزوجته فان بالامكان نقل أحجام كبيرة من الهيدروجين اكبر مما يمكن نقله حاليا من الغاز مما يعوض في النهاية عن انخفاض القيمة الحرارية في وحدة الحجم من الهيدروجين مقارنة بالقيمة الحرارية لنفس وحدة الحجم من الغاز، إن هذا يعني أن ضخ كمية من الطاقة بشكل هيدروجين لن يكلفنا من الضاغطات وما تستهلكه من طاقة اكثر مما يكلفنا الأمر مع الغاز.

يتميز الوقود المستعمل حاليا بأنه سهل الخزن، اذ أن كل ما يتطلبه الأمر هو بناء خزانات محكمة وضخ الوقود فيها والاحتفاظ به لاية فترة زمانية

نرغب بها، اضافة الى ذلك فان خزن الوقود ولو لفترات طويلة لا يؤثر على خصائصه ولا يغير فيها شيئا، وهكذا الحال أيضا مع الهيدروجين فان بالامكان خزنه في صهاريج أو خزانات لفترات طويلة واستعماله عند الحاجة وبالمقادير المطلوبة دون أن يؤثر ذلك على خصائصه. إن خاصة الخزن للوقود او لمصدر الطاقة امر جد مهم اذ أنه يمنحنا القدرة على استعمال هذا المصدر بالشكل الذي نرغب بحيث إننا نطوع مصدر الطاقة هذا لرغباتنا بدل أن نضطر للتأقلم مع التقييدات التي يفرضها مصدر طاقة لا يمكن خزنه.

ان الخاصتين السابقتين تضعان الهيدروجين في موقع المنافس لأنواع الوقود المستعملة حاليا وتمنحه في ذات الوقت مزايا بالنسبة لمصادر الطاقة البديلة كالشمس والهواء وغيرهما، فالطاقة الشمسية لا يمكن نقلها من مكان الى آخر بل إنها تسقط بشكل موجات كهرومغناطيسية وعلينا ان نذهب الى حيث تسقط الأشعة للاستفادة منها، وكذلك الحال مع طاقة الهواء أو الرياح فان استغلالها يفرض علينا أن نذهب الى حيث تتوفر ولا يمكننا نقلها من مكان الى اخر اللهم إلا اذا قنا بتحويلها الى شكل آخر من الطاقة كالكهرباء التي قد نستخدمها لانتاج الهيدروجين، أما بالنسبة لمسألة الخزن فان بالامكان خزن الطاقة الشمسية بشكل طاقة حرارية لتسخين المياه أو تسخين الصخور، غير أن خزن كميات كبيرة من الطاقة بهذا الشكل يحتاج الى خزانات جد كبيرة من الماء أو الصخور، والى ذلك فانه لا يمكن رفع درجة حرارة الخزان الى درجات عالية.

إن خاصية الهيدروجين في كونه قابلا للنقل والخزن يجعله وقودا مرنا بمعنى انه مادام هناك مخزون كاف فان بالامكان استخدام الكميات المطلوبة وبالشكل المطلوب. ان هذا يمنح الهيدروجين صفة التوفر بشكل دائم بعكس ما تتميز به بعض مصادر الطاقة البديله كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة المد والجزر، فالمعروف أن هذه المصادر من الطاقة البديلة لا تتوفر

بشكل دائم بل انها تتوفر أحيانا وتختفي أحيانا أخرى، فالشمس تتوفر أثناء النهار اذا كان الجو صحوا، وطاقة الرياح تتوفر ان كان هناك رياح ذات سرعات معقولة، لكن ورغم التوفر الجزئي لمصادر الطاقة هذه فانها أثناء توفرها لا تمتلك نفس المعدلات من الطاقة بل إنها تتغير زمانيا، فكمية الطاقة الشمسية المتوفرة اثناء الظهيرة أعلى منها في الصباح أو عند الغروب، وكنا قد رأينا حين الحديث عن طاقة الرياح أن الطاقة المتوفرة تتناسب مع مكعب السرعة، التي تتغير بشكل مستمر، وهذه الخصائص تجعل من الهيدروجين وسيطا جيدا لتحويل هذه المصادر من الطاقة الى مصدر جديد يمتاز بامكان النقل والخزن وبالتالي تعدد الاستعمالات وإمكان تحقيقها في أي وقت نشاء.

إن أنواع الوقود المتوفرة حاليا، برغم مزاياها التي ذكرنا ، تتميز بخاصتين سلبيتين: الأولى أن مصادر الوقود ليست دائمة ولا متجددة بل هي موجودة بكميات محدودة لن تلبث أن تنتهي تماما أو يصبح استغلالها أمرا غاية في الصعوبة الفنية وغالي التكاليف، إن هذه الخاصة بحد ذاتها كافية لأن تجعلنا نبحث عن بديل لمواجهة ما يمكن أن ينشأ مستقبلا في حال نضوب مصادر الوقود، أما الخاصة الثانية فهي أن عملية حرق الوقود تؤدي الى انتاج بعض المواد السامة وذات الآثار التلويثية، فاحتراق الوقود يؤدي الى انتاج أول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكبريت ناهيك عن ثاني أوكسيد الكربون، والمعروف أن هذه الغازات سامة أو ضارة وان ارتفاع نسبتها في الجو ذو نتائج سلبية.

لكن حين نتكلم عن الهيدروجين فاننا نتكلم عن مصدر دائم ومتجدد، وصحيح أن الهيدروجين لا يوجد بشكل خالص في الطبيعة الا بكميات ضئيلة، لكنه موجود بكثرة وأكثر من أي عنصر آخر لكن بشكل مركبات، أي أن الهيدروجين يوجد متحدا مع عناصر أخرى، وأهم المركبات التي يوجد فيها الهيدروجين هو الماء. فكل جزيء من الماء يحتوي على ذرتين من

الهيدروجين وذرة من الأوكسجين، ولسنا في حاجة الى الاشارة الى الكميات الضخمة من مياه البحار والمحيطات وبالتالي الى الكميات الضخمة من الهيدروجين الموجودة في الطبيعة، غير أنه من أجل الحصول على الهيدروجين لابد من استخلاصه في البداية من مصادره وتحديدا من الماء. ولكن عملية الاستخلاص هذه تحتاج الى مصدر أولي للطاقة سواء كانت طاقة حرارية أو كهربائية أو ضوئية. من هنا نصل الى النتيجة بأن الهيدروجين ليس مصدرا أوليا للطاقة وانما هو وسيط فقط ، أي أننا نقوم بتحويل المصدر الأولي للطاقة الى هيدروجين نستفيد منه ثم من قيمته الحرارية.

وحين يحترق الهيدروجين فانه يتحد مع الأوكسجين ويكون الناتج بخار ماء ليس إلا. بذلك فان الهيدروجين الذي يستخلص من الماء يحترق ويعطي ما يحتويه من طاقة ليتحول بعد ذلك الى ماء، اي أنه يعود الى حالته الأولى. بهذا فان حرق الهيدروجين لا يؤدي الى افنائه بل الى الاحتفاظ به بصورته الأصلية، ونتيجة لعملية الاحتراق هذه التي ينتج عنها الماء فان الآثار التلويثية للهيدروجين تكون في العادة معدومة، إن هذه الخصائص تعطي الهيدروجين فضلا على غيره من أنواع الوقود.

ويمتاز لهب الهيدروجين بكونه سريع الانتشار وذا درجة حرارة عالية، وبالنسبة للخاصة الأولى فان هذا يعني أن لهب الهيدروجين ينتقل بسرعة كبيرة مما يقلل من أخطار الحرائق، كذلك ينتشر الهيدروجين في الجو بسرعة كبيرة مما يقلل من نسبة تركيزه فيما لو انفجر خزان من الهيدروجين مما يقلل ايضا امكان نشوب الحرائق، أما ارتفاع درجة حرارة لهب الهيدروجين فان هذا يمنحه امكان الاستعمال في العمليات الصناعية التي تتطلب درجات حرارة عالية بما فيها عمليات اللحام.

والهيدروجين مثل الغاز الطبيعي لا رائحة له، ولذلك فانه في حالة

انتشار استعماله فمن الضروري اضافة بعض الروائح إليه حتى يصبح بالامكان معرفة ما اذا كان هناك أي تسرب من خزان الهيدروجين مثلا، كذلك فان لهب الهيدروجين النقي لا لون له ولابد والحالة هذه من اضافة بعض المواد التي تعطي لهب الهيدروجين لونا حتى يمكن معرفة أنه يشتعل، إن هذه الأمور ليست الآ اجراءات للسلامة ولجعل استعمال الهيدروجين أمرا مأمونا.

الهيدروجين اذن وقود جد ملائم لاحتياجاتنا. لكنه كما ذكرنا ليس مصدرا أوليا للطاقة بل هو وسيط، حيث إن انتاجه يتطلب توفر مصادر أولية، والآن كيف يمكن انتاج الهيدروجين؟

طرق انتاج الهيدروجين:

١ ـ التحليل الكهربائي:

تعتمد هذه الطريقة على امرار تيار كهربائي في الماء فيتحلل الماء الى مكوناته الأصلية، الأوكسجين والهيدروجين. تصل كفاءة هذه الطريقة الى ٨٠٪، لكن حين نأخذ في الاعتبار كفاءة تحويل الطاقة الأولية الى كهرباء ثم الى هيدروجين فان الكفاءة العامة، أي كفاءة التحويل من مصدر الطاقة الأولية حتى انتاج الهيدروجين لا تزيد عن ٣٠٪.

إن تكلفة انتاج الهيدروجين بواسطة التحليل الكهربائي أعلى من تكلفة انتاجه من الغاز الطبيعي، ومن أجل التغلب على هذه العقبة الاقتصادية فقد طرحت اقتراحات بأن يتم انتاج الهيدروجين من الطاقة الكهربائية الزائدة في محطات توليد الطاقة الأولية، والمقصود بالطاقة الزائدة الفارق بين الطاقة المنتجة في محطة توليد الكهرباء في لحظة وبين الاستهلاك، اذ بدل أن يضيع هذا الفارق سدى فان بالامكان استخدامه لانتاج الهيدروجين الذي يستعمل من ثم في العديد من المجالات الملائمة.

سبق أن قلنا إن الهيدروجين طاقة وسيطة ولذلك فلابد من توفر مصدر طاقة أولية حتى يمكن انتاجه. لذا فان التفكير بانتاج الهيدروجين من خلال توليد الطاقة الكهربائية بواسطة استعمال مصادر الطاقة الحالية من فحم وبترول وغاز ليست بالطريقة المثلى، اضافة الى محدودية المصادر الحالية للطاقة ومن أجل التغلب على هذه العقبة فان الجهود تتجه نحو انتاج الهيدروجين بالاعتماد على مصادر الطاقة الطبيعية المتجددة كمصادر أولية، ومن بين المصادر المؤهلة لأن تستخدم لتوليد الكهرباء، ومن ثم انتاج الهيدروجين نشير الى الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الحرارية في البحار والمحيطات، ان هذه المصادر تتمتع بخصائص تجعلها ملائمة لانتاج الهيدروجين فالشمس والهواء كمصادر للطاقة تتميز بكونها لا تتوفر بمقادير ثابتة طوال الوقت بل تتغيّر باستمرار ولابد من اللجوء الى خزنها ان أردنا الاستفادة منها في الأوقات التي لا تتوفر فيها، أما بالنسبة للطاقة الحرارية في البحار والمحيطات فانها تتوفر في مناطق تبعد عشرات أو مئات الأميال عن مراكز الاستهلاك، ولذلك فان تحويلها الى هيدروجين يبدو حلا معقولا ومقبولا.

٢ ـ التحلل الحراري:

المقصود بالتحلل الحراري هو تحويل الماء الى بخار ومن ثم رفع درجة حرارته الى ٢٥٠٠ درجة مئوية حيث يتحلل الماء الى الأوكسجين والهيدروجين. ان هذه الطريقة رغم كونها تحويلا مباشرا للطاقة الحرارية الى هيدروجين الاّ أنها ليست مدرجة على جدول أعمال أية شركة صناعية أو مركز أبحاث، ومن بين الصعوبات التي تواجه هذه الطريقة مشكلة صناعة الأجهزة التي تتحمل درجات الحرارة العالية المطلوبة، وكذلك هناك مشكلة فصل الأوكسجين عن الهيدروجين بعد التحلل، وحتى لو تم التغلب على هذه الصعوبات فستبقى هناك صعوبات الوصول الى درجة الحرارة العالية المطلوبة

اعتمادا على المصادر الطبيعية أو حتى على المفاعلات النووية، ففي المفاعلات النووية لا ترتفع درجة حرارة الماء أو الهواء المستعمل لنقل حرارة التفاعل النووي الى أكثر من ٨٠٠ درجة مئوية، أما اللجوء الى الطاقة الشمسية من أجل الوصول الى درجة حرارة تساوي ٢٥٠٠ درجة مئوية فهو ليس بالأمر الممكن ضمن المعطيات الحالية.

٣ ـ العمليات الكيميا ـ حرارية:

تتبع هذه الطريقة للتغلب على درجات الحرارة العالية المطلوبة في عملية التحلل الحراري، وتقوم هذه الطريقة على انتاج الهيدروجين بواسطة تفاعل الماء مع بعض المركبات الكيماوية، وبعد سلسلة من هذه التفاعلات يتحول الماء الى أوكسجين وهيدروجين وتعود المركبات الكيماوية الى حالتها الأصلية، وهناك العديد من المركبات الكيماوية التي يمكن استخدامها في سلسلة التفاعلات لانتاج الهيدروجين، غير أن إحدى العقبات أمام هذه العملية هي درجة الحرارة العالية نسبيا المطلوبة والتي تصل الى حوالي ٨٠٠ درجة مئوية، إن الوصول الى درجة الحرارة العالية هذه ليس بالأمر السهل فكما ذكرنا سابقا فان النواقل الحرارية في المفاعلات النووية لا ترتفع درجة حرارتها الى أكثر من ٨٠٠ درجة مئوية في الوقت الذي اذا أردنا اجراء تفاعل على درجة حرارة تساوي ٨٠٠ درجة مئوية فان مصدر الحرارة الذي سيقوم بتزويدها على هذه الدرجة لابد أن يكون على درجة حرارة أعلى.

أدت البحوث التي أجريت في مجال العمليات الكيمياحرارية الى الوصول الى بعض المركبات التي تحتاج لدرجة حرارة تساوي ٦٥٠ درجة مئوية لاجراء التفاعلات المطلوبة، وتقوم هذه الطريقة على مفاعلة كلوريد الحديدوز ($Fe\,Cl_2$) مع بخار الماء. ينتج من هذا التفاعل أوكسيد الحديديك ($Fe_3\,O_4$) وحامض الهيدروكلوريك والهيدروجين، ولكن رغم

انتـاج الهيدروجين في هذا التفاعل الاّ أن سلسلة التفاعلات لم تنته ولابد من استخلاص كلوريد الحديد مرة أخرى، ولذلك فلابد من اكمال سلسلة التفاعلات. الحلقة الثانية في سلسلة التفاعلات هي اضافة الكلور الى أوكسيد الحديد (F2 O3) وحامض الهيدروكلوريك ينتج منه كلوريد الحديديك ($Fe\ Cl_3$) والماء والأوكسجين، ونلاحظ أن كلوريد الحديد الناتج في الحلقة الثانية يختلف عن كلوريد الحديدوز الذي دخل في بداية الحلقة الأولى في أنه يحتوي على ثلاث ذرات كلور بدل ذرتين، والحلقة الثالثة في التفاعل تقوم على تحليل كلوريد الحديديك ($Fe\ Cl_3$) وتحويله الى كلوريد حديدوز ($Fe\ Cl_2$) وكلور، وبذلك يكون الناتج النهائي لسلسلة التفاعلات هو تحويل الماء الى هيدروجين وأوكسجين واعادة استخلاص كلوريد الحديدوز بصورته الأولى ($Fe\ Cl_2$).

٤ ـ التركيب الضوئي:

في عملية التركيب الضوئي تقوم أوراق النباتات بامتصاص الفوتونات من الضوء وطاقة هذه الفوتونات تحلل الماء الى أوكسجين وهيدروجين. بعد ذلك يحصل تفاعل بين ثاني أوكسيد الكربون والهيدروجين لانتاج المواد الكربوهيدراتية واطلاق الأوكسجين الى الجو، إن عملية التفاعل هذه معروفة جيدا، وهي التي تؤدي الى خلق حالة من التوازن في مكونات الغلاف الجوي، ومن الواضح أن عملية التركيب الضوئي هذا لا تؤدي الى انتاج الهيدروجين، لكن هناك عمليات تركيب ضوئي أخرى تؤدي الى انتاج الهيدروجين، اذ أن بعض الطحالب التي تنمو في المياه تقوم أيضا بامتصاص الضوء وبعد سلسلة من التفاعلات تقوم باطلاق الهيدروجين.

ها نحن اذن أمام طريقة لانتاج الهيدروجين دون اللجوء الى الأساليب المعقدة ودرجات الحرارة العالية، اذ لا يحتاج الأمر الاّ الى زرع مساحات واسعة من الطحالب وتجميع الهيدروجين، الاّ أن هذه الطريقة لها مشكلاتها

الخاصة التي تختلف عن المشكلات السابقة. ففي البداية تبلغ كفاءة هذه الطريقة حوالي ١-٢٪ فقط في الأجواء الطبيعية رغم أنه في بعض التجارب المختبرية وصلت الكفاءة الى حوالي ٩٪. أما المشكلة الثانية فتنبع من انخفاض الكفاءة الأمر الذي يعني أن انتاج كميات كبيرة من الهيدروجين سيتطلب مساحات واسعة جدا من الطحالب. لكن برغم هذه المشكلات فان هذه الطريقة تمنح الكثير من الفوائد الايجابية اذ أنها تعتمد على الطاقة الشمسية كمصدر للطاقة ولا تبدو هناك أية آثار تلويثية، إن هذه الطريقة في انتاج الهيدروجين ستصبح أكثر ملاءمة وقبولا فيما لو تمكنت الأبحاث العلمية الجارية في هذا المجال من رفع كفاءة العملية اذ ستصبح عندها في وضع ينافس تطبيقات الطاقة الشمسية الأخرى وبخاصة تطبيقات انتاج الطاقة الكهربائية بواسطة الخلايا الشمسية التي لا تزيد كفاءتها حاليا عن ١٠-١٢٪.

٥ ــ العمليات الفوتوكيماوية:

تقوم هذه العملية على انتاج مصدر من الفوتونات فوق البنفسجية حيث يقوم الماء بامتصاصها ويتحلل الى أوكسجين وهيدروجين. إن الصعوبة التي تواجه هذه الطريقة هي انتاج مصدر الفوتونات، وقد تم طرح فكرة استخدام المفاعلات النووية التي تعمل على أسس الاندماج النووي لانتاج مصدر الفوتونات. غير أن هذه العملية مازالت بعيدة عن التنفيذ بسبب عدم وجود مثل هذه المفاعلات النووية. وهناك مشكلة أخرى في هذه العملية وهي ضرورة القيام بفصل الهيدروجين عن الأوكسجين للاستفادة من كليهما على انفراد.

استعمالات الهيدروجين:

الهيدروجين وقود ملائم للحلول محل أنواع الوقود المتوفرة حاليا، وبالامكان احلاله محلها في كافة المجالات، وبالاضافة الى هذا فان

الهيدروجين يدخل في العديد من العمليات الصناعية حيث يشكل جزءا من المنتجات النهائية في العديد من الصناعات الكيماوية وغيرها. فمن ضمن مجالات استخدام الهيدروجين نشير الى التالي :-

١ ــ **الاستعمالات الحرارية في البيوت:**

يمكن استخدام الهيدروجين بدل الغاز المستعمل في المطابخ، وكما ذكرنا سابقا فان شبكات توزيع الغاز المتوفرة حاليا في بعض الدول تصلح لنقل الهيدروجين بدل الغاز، كذلك يمكن تعبئة الهيدروجين في اسطوانات الغاز الحالية وبيعه للمستهلكين بنفس الاسلوب.

يمكن استعمال الهيدروجين أيضا كوقود لتسخين المياه أو لتدفئة المنازل، وفي هذا المجال يتفوق الهيدروجين بفائدة جد مهمة على غيره من الوقود. فالهيدروجين حين يحترق ينتج بخار الماء ولا ينتج أية غازات سامة تلوث البيئة، وعليه فان بالامكان حرق الهيدروجين في مواقد مغلقة دون الحاجة الى مداخن مما يؤدي الى تسرب كميات كبيرة من الحرارة مع الغاز المنبعث وخلال عمليات انتقال الحرارة المختلفة، وتصل هذه النسبة في بعض المواقد الى حوالي ٣٠٪ من القيمة الحرارية للوقود المستعمل، إن استعمال الهيدروجين سيؤدي الى الاستفادة من مجمل الطاقة الحرارية الكامنة فيه وسيرفع من كفاءة عملية الاحتراق.

٢ ــ **وسائط النقل:**

الهيدروجين هو وريث أنواع المحروقات المختلفة المستعملة في وسائط النقل المتنوعة، فهو بحكم قابليته للنقل والخزن وتوليد درجات الحرارة العالية يعتبر الوقود المستقبلي لوسائط النقل، واستعمال الهيدروجين لتسيير السيارات مثلا لا يتطلب سوى تعديل نظام مزج الوقود مع الهواء (الكاربوريتر). كذلك فان الهيدروجين وقود ملائم للطائرات بحكم خفة وزنه وارتفاع قيمته الحرارية مقارنة بالوقود المستعمل

حاليا، إن هذا سيؤدي الى تخفيف الوزن الاجمالي للطائرة، لكنه من الجانب الآخر سيتطلب زيادة حجمها حيث إن القيمة الحرارية في وحدة الحجم من الهيدروجين أقل من مثيلتها في أنواع الوقود الأخرى.

٣ ـ صناعة الأسمدة الكيماوية:

يدخل الهيدروجين في صناعة الأمونيا التي تشكل جزءا أساسيا من صناعة الأسمدة الكيماوية. وفي صناعة الأسمدة الكيماوية في الوقت الحاضر يتم انتاج الهيدروجين من الغاز الطبيعي، إن استعمال الهيدروجين في صناعة الأسمدة الكيماوية أمر في غاية الأهمية في العصر الحالي وفي المستقبل نظرا لتفاقم الأزمة الغذائية في العالم وحاجة العالم المتزايدة الى الأسمدة الكيماوية.

٤ ـ توليد الطاقة الكهربائية:

إن بالامكان استعمال الهيدروجين كوقود للتوربينات في محطات توليد الطاقة الكهربائية. وكذلك يمكن استعماله لتوليد الطاقة الكهربائية في خلايا الوقود.

خزن الهيدروجين:

إن استعمال الهيدروجين مستقبلا سيتطلب بالتأكيد توفر امكانات خزنه بأحجام مختلفة حسب الاستعمالات المتوقعة، فلو افترضنا أن الهيدروجين سيستعمل كوقود في السيارات فان ذلك يتطلب تعبئته في خزانات وقود السيارات، غير أن عملية الخزن هذه ستحتاج الى خزانات ذات أحجام كبيرة بسبب قلة الطاقة في وحدة الحجم من الهيدروجين مقارنة بأنواع الوقود الأخرى، غير أن خزن الهيدروجين قد لا يشكل عقبة في تطبيقات أخرى كاستعماله للطبخ أو التدفئة.

على كل بالامكان خزن الهيدروجين بشكل غاز أو سائل، غير أن هناك طريقة أخرى للخزن لها العديد من الفوائد ونقصد بها خزن

الهيدروجين بشكل هيدريدات HYDRIDES ، والهيدريد هو عبارة عن مركب كيماوي يتكون من الهيدروجين وأحد المعادن التي تمتلك خاصة امتصاص الهيدروجين كالمغنيسيوم ومزيج النيكل والتيتانيوم أو الحديد والتيتانيوم وغيرها، فالمغنيسيوم مثلا باستطاعته امتصاص كمية من الهيدروجين يبلغ حجمها أكبر من حجم المغنيسيوم نفسه بأكثر من ألف مرة، إن خزن الهيدروجين بشكل هيدريد يؤدي الى التغلب على صعوبات خزنه بشكل غاز أو سائل اذ أنه سيؤدي الى تقليل أحجام الخزانات المطلوبة.

وحين يتم امتصاص الهيدروجين بواسطة أحد المعادن أو مزيج منها فان ذلك يؤدي الى اطلاق كمية من الحرارة تعتمد على المعدن وعلى ظروف التجربة وبخاصة الضغط الذي تجري تحته العملية، وفي حالة الحاجة الى الهيدروجين فان استخلاصه من الهيدريد يحتاج الى أن نقوم بتعويض كمية الحرارة التي انبعثت في المقام الأول، ولذا فان امتصاص الهيدروجين واستخلاصه تتضمن عمليات شحن وتفريغ حراري، واذا أخذنا بعين الاعتبار أن الهيدريدات المختلفة تعمل على درجات حرارة مختلفة بمعنى أنها تمتص وتطلق الهيدروجين على درجات حرارة مختلفة، فاننا نجد أنفسنا أمام مصادر حرارية على درجات حرارة عالية يمكن تجميعها أو التوفيق بينها للاستفادة من هذه الخاصة، لنضع عمليات تكّون الهيدريدات وتحللها بشكل معادلات كتابية :

هيدروجين + مادة هيدريدية = هيدريد + حرارة

هيدريد + حرارة = هيدروجين + مادة هيدريدية

هناك العديد من التطبيقات التي يمكن تحقيقها بواسطة الحرارة المنبعثة عند تكون الهيدريد أو الحرارة المطلوبة لتحلله. هناك مثلا امكانية استخدام الحرارة الناتجة عن تكون الهيدريد في أعمال التدفئة أثناء الليل حين لا

تتوفر هناك الطاقة الشمسية مثلا. أما أثناء النهار فان بالامكان استخدام الطاقة الشمسية لتحلل الهيدريد الى مكوناته الأولية، إن خاصة الشحن والتفريغ الحراري حين تكوين وتحلل الهيدريد تعني أنه بالامكان استخدام الهيدريدات كخزانات حرارية والاستفادة من الحرارة الضائعة ذات درجات الحرارة المنخفضة نسبيا في العديد من الأنظمة الحرارية.

ولنفترض ان الهيدروجين سيستعمل كوقود في سيارات المستقبل، في هذه الحالة يكون من الأفضل حمل الهيدروجين بشكل هيدريد لتحقيق غرض توفير كمية كبيرة من الهيدروجين ولتحاشي أية أخطار محتملة كاحتراق الهيدروجين في حالة حدوث تصادم مثلا، ولكن من أجل استخلاص الهيدروجين من الهيدريد فاننا نحتاج الى حرارة، ان بالامكان في هذه الحالة الاستفادة من حرارة العادم الناتج من حرق الهيدروجين في محرك السيارة.

هناك تطبيقات أخرى عديدة للهيدريدات مثل توليد الطاقة الكهربائية أو خزنها بشكل هيدروجين يعاد استعماله في الخلايا الوقودية، وكذلك في عمليات التبريد والتدفئة.

ويمكننا أن نخلص الى أن الهيدروجين وسيط جيد لتحويل مصادر الطاقة الطبيعية الى أشكال أخرى من الطاقة، وهو يتمتع بمزايا كثيرة على أنواع الوقود المختلفة المستعملة حاليا وعلى المصادر الطبيعية نفسها، لكننا حين نذكر هذا فانه لا يغيب عن بالنا ضرورة استعمال الهيدروجين في المجالات الأكثر ملاءمة. فكما رأينا فان انتاج الهيدروجين يحتاج الى درجات حرارة عالية سواء كان ذلك في العمليات الكيمياحرارية أو في محطات توليد الطاقة الكهربائية سواء كانت تعمل على الوقود النووي أو على الطاقة الشمسية. من هنا فاننا لا نحبذ فكرة استخدام الهيدروجين كوقود للتدفئة مثلا اذا كان بالامكان استخدام الطاقة الشمسية مباشرة لأن التدفئة تتم في العادة على درجات حرارة منخفضة.

وينطبق نفس الأمر على تطبيقات أخرى كتسخين المياه والتبريد اذ لا تتطلب هذه التطبيقات سوى توفر مصدر حراري على درجة حرارة أقل من ١٠٠ درجة مئوية، وبالتالي فانه من الأفضل اللجوء الى المصادر الطبيعية مباشرة لتقوم بمثل هذه المهمات بدل تبذير الهيدروجين، إن الواجب يقتضي أن لا نكرر نفس الأخطاء التي اقترفناها في التعامل مع مصادر الوقود الحالية من فحم وبترول وغاز حيث يجرى تبذير الكثير منها في تطبيقات يمكننا تحقيقها دون تبذير.

ومن المفارقات اللطيفة في مجال استخدام الهيدروجين أن الكاتب الفرنسي جول فيرن، وهو كاتب لقصص الخيال العلمي، قد أشار قبل أكثر من قرن الى الهيدروجين كمصدر للطاقة في حال استنزاف مصادر الفحم في العالم وبالطبع لم يكن البترول قد اكتشف بعد ولم يشع استعماله، قال فيرن في قصة «الجزيرة الغامضة» :

«وما الذي سيحرقه الناس حين لا يتبقى هناك فحم ؟ الماء، نعم، أيها الأصدقاء، أعتقد أن الماء سيستخدم يوما ما كوقود، وأن الهيدروجين والأوكسجين سيزودانا بمصدر لا يستنزف من الحرارة والضوء».

الفصل السابع

الطاقة الشمسية

مقـدمـة :ـ

الشمس هي مصدر طاقة حياة الأرض اذ لولاها لما وجدت الحياة بشكلها الحالي على سطح كوكبنا، وقد أدرك الانسان منذ القدم أهمية الشمس في حياته فلم يدخر وسعا طوال تاريخه في أن يدرس حركتها وأن يعمل باستمرار على كشف المزيد والمزيد من الحقائق المحيطة بها.

ونتيجة لتأثير الشمس الكبير على حياة البشر فان الاهتمام بها وصل الى حد أنها شكلت جزءا من معتقدات بعض الأمم التي أسبغت عليها طابعا دينيا. وتتضح أهمية الشمس في معتقدات الأمم فيما لو نظرنا الى تراثها الماضي، اذ قلما وجدت أمة في التاريخ لم تعط للشمس مكانة متميزة كالأمم المختلفة التي سكنت وادي النيل وحوض الرافدين ومن بعدهم اليونان والرومان، ونقرأ في القرآن الكريم قصة ابراهيم عليه السلام وكيف أنه عبد الشمس قبل أن يهتدي الى عبادة الخالق تعالى، كما نقرأ في قصة يوسف عليه السلام كيف رأى الشمس والكواكب له ساجدين.

لم تكن هذه الأهمية الكبيرة التي أسْبَغَتْ على الشمس عبثا بل نتيجة لاحساس الانسان وادراكه بأن الشمس مسؤولة عن الكثير من الظواهر التي تؤثر في حياته ومعيشته، فالليل والنهار واختلاف فصول السنة وتغير أحوال الطقس كلها أمور مرتبطة بالشمس بشكل وثيق وتؤثر في ذات الوقت على وجود الانسان ونمط حياته، ولذلك فقد حاول الانسان منذ فجر الحضارة أن يرصد حركة الشمس وأن يحسب طول السنة الشمسية وأن يعرف الفصول المختلفة وتأثيرها على حياته.

ولربما كانت قصة أرخميدس المشهورة والمتعلقة باستعماله للمرايا لتركيز أشعة الشمس على الاسطول الروماني واحراقه قرب مدينة سيراكوس في عام ٢١٢ ق.م من أولى الاشارات التي تدل على استعمال الانسان للطاقة الشمسية بطريقة علمية وبناء على دراسة ومعرفة بخصائص الاشعاع الشمسي والمرايا العاكسة في ذات الوقت. وتقول بعض المصادر بأن أرخميدس وضع كتابا حول المرايا المحرقة غير أنه لم يبق منه نسخة لتثبت صحة ذلك، لكن اذا كان أرخميدس قد أدرك امكانية استعمال الأشعة الشمسية لأحراق اسطول بحري فان ادراك الانسان ومعرفته بتغير موقع الشمس وما يصاحبه من تغير في زوايا سقوط الاشعاع الشمسي والنتائج المترتبة على ذلك يعود على الأقل الى قرنين من الزمن قبل أرخميدس. فقد قال الفيلسوف اليوناني سقراط في حوالي العام ٤٠٠ قبل الميلاد «تدخل أشعة الشمس الى رواق البيوت ذات الواجهات الجنوبية في الشتاء، أما في الصيف فان مسار أشعة الشمس يكون عموديا فوق الرأس وفوق الأسقف مما يؤدي الى تكون الظلال». والواقع أن هذه الفكرة تشكل احدى الزوايا الرئيسية فيما يعرف بالاستخدام السلبي للطاقة الشمسية الذي يقوم على أساس تصميم البيوت بشكل يتلاءم مع تغير مسار الاشعاع الشمسي وزوايا سقوطه ما بين الصيف والشتاء بحيث يمكن الاستفادة منه في الفصل البارد لتدفئة المباني وحجبه في الفصل الحار لتقليل آثاره الحرارية.

وعلى كل حال استمرت قصة أرخميدس موضع جدل بين العلماء نظرا لأن الأسانيد التاريخية لم تتفق جميعها على صحة الرواية، اذ أن بعض المصادر قد أشارت اليها بينما لم يرد ذكرها في مصادر أخرى، كذلك لم تذكر المصادر التاريخية حصول أي تقدم في استخدام الطاقة الشمسية حتى عصر النهضة الأوروبية باستثناء ما ذكر من أن أحد العلماء الرومان قد حاول اعادة تجربة أرخميدس أثناء حصار لمدينة القسطنطينية، أما الفترة التي ازدهرت بها الحضارة العربية الاسلامية والتي شهدت تطورا في الكثير

من العلوم فانه لا يوجد من الدلائل ما يشير الى حصول تطور مماثل في مجال الطاقة الشمسية، لكننا مع ذلك نميل الى الاعتقاد بأن كمية كبيرة من المعلومات عن الشمس وحركتها وآثارها كانت متوفرة لدى العلماء العرب والمسلمين، وليس أدل على ذلك من أن تحديد أوقات الصلاة مرتبطة بحركة الشمس كصلاة الظهر والعصر وكذلك معرفة طول يوم الصيام، ثم لو نظرنا الى التراث المعماري العربي الاسلامي ونظرنا الى خصائصه لوجدنا أنه كان متناغما مع البيئة الطبيعية السائدة ومع تغير سقوط الاشعاع الشمسي وشدته، الأمر الذي يدل على توفر معرفة واسعة بحركة الشمس وآثارها.

عاد الاهتمام بالطاقة الشمسية مرة أخرى في أوائل القرن السابع عشر في أوروبا، فقد قام اتانا سيوس كيرش بتجارب لايقاد كومة من الخشب بواسطة استعمال المرايا الزجاجية وذلك في محاولة لاثبات صحة قصة أرخميدس (١). وقد ذكر أيضا أن العالم سالومون دي كو قام بصنع محرك يعمل على الطاقة الشمسية اذ قام بتركيز الأشعة الشمسية على اناء محكم مملوء جزئيا بالماء، وبفعل تأثير أشعة الشمس يتمدد الهواء ويدفع الماء الى الخارج على شكل نافورة. غير أن السمة العامة لمعظم التجارب والمحاولات التي جرت في القرن السابع عشر كانت تتركز حول استخدام المرايا لتركيز أشعة الشمس واستعمال الحرارة الناتجة في صهر المعادن، ومن بين هذه التجارب جرت محاولات لصهر الألماس والسيراميك والحديد والنحاس والقصدير وغيرها. وهنا نذكر أنه مازالت فكرة استعمال المرايا العاكسة والمركزة لأشعة الشمس قيد الاستعمـــال في وقتنا الحاضر وتعرف باسم الفرن الشمسي، ويوجد في منطقة أوديو في فرنسا مصنع لصهر المعادن يعتمد على ذات الفكرة ويستعمل المرايا العاكسة.

في القرن الثامن عشر استمر الاهتمام باستخدام الطاقة الشمسية

---

(١) قبيسي، د. حافظ، الطاقة الشمسية، معهد الانماء العربي، بيروت، لبنان، ١٩٧٨، ص ١٩ — ٥١.

واستمر التركيز على موضوع الأفران الشمسية، وقد قام العالم الفرنسي بوفون بانشاء فرن يتألف من ٣٦٠ مرآة صغيرة تقوم جميعها بتركيز أشعة الشمس نحو بؤرة واحدة، وقام بعد ذلك بعرض فرن أصغر من السابق يتألف من ١٦٠ مرآة استطاع بواسطته حرق كوم من الخشب على بعد ٦٠ مترا، وقد استنتج بوفون من تجربته بأن هناك احتمالاً كبيراً في كون قصة أرخميدس صحيحة، وجرت محاولات أخرى من قبل علماء آخرين لصنع أفران شمسية واستعمالها في الطبخ، وفي عام ١٧٤٧ قام الفلكي الفرنسي كاسيني بصنع عدسة بلغ قطرها ١١٢ سم تمكن بواسطتها من الحصول على درجة حرارة تبلغ ١٠٠٠ درجة مئوية وهي كافية لصهر الحديد، أما الكيميائي لافوازيه فقد صنع فرنا شمسيا تمكن بواسطته من الحصول على درجة حرارة تبلغ ١٧٦٠ درجة مئوية.

أما القرن التاسع عشر فقد شهد حصول تطورات جديدة في تكنولوجيا استخدام الطاقة الشمسية، اذ رغم استمرار الاهتمام بموضوع الأفران الشمسية ونجاح العلماء في تقديم تصاميم مختلفة منها لأغراض الطبخ أو صهر المعادن فقد ظهرت أفكار جديدة تختلف عما اعتاد عليه علماء الفترة السابقة، فقد قام العالمان الألمانيان بصنع فرن شمسي مفرغ من الهواء، وتكمن أهمية هذا التطوير الجديد في أن أشعة الشمس تنتقل في الفراغ واما انتقال الحرارة بالحمل والتوصيل فانه يحتاج الى وسط مادي. وبذلك فان هذا الفرن المفرغ يسمح لأشعة الشمس بالنفاذ الى داخله بينما يمنع الحرارة من الانتقال الى الخارج وذلك بسبب غياب الوسط المادي. وتستعمل تكنولوجيا الأنابيب المفرغة من الهواء في عصرنا الحاضر لصنع المجمعات الشمسية ذات الكفاءة العالية نظرا لان فقدانها للحرارة قليل جدا، أما التطور الآخر الذي شهده القرن التاسع عشر فقد تمثل في التجارب الأولى لصنع محرك بخاري يعمل بالطاقة الشمسية لتسيير الآلات، ومن بين رواد هذه التجارب العالم اوغست موشو الذي قام بصنع آلات بخارية تسير بالطاقة الشمسية، غير أن التكلفة الاقتصادية العالية لهذه

المحركات وضعت حدا أمام انتشارها، وقام موشو باجراء تطويرات على آلته البخارية واستطاع تطوير آلة تعطي ما يعادل ١,٥ كيلوواط غير أن كفاءتها كانت قليلة ولا تتعدى ٣٪. وبعد ذلك قام بيفر بصنع آلات بخارية شمسية أخرى كانت احداها تقوم بتشغيل آلة طابعة.

وفي الربع الأخير من القرن التاسع عشر قام جون اريكسون من الولايات المتحدة الأمريكية بصنع آلات بخارية شمسية، ومن التطويرات التي أدخلها بناء مجمع شمسي يدور حول محور عمودي لمتابعة حركة الشمس، ومن الجدير بالذكر أن اسلوب متابعة حركة الشمس شائع الاستعمال في يومنا وبخاصة في المجمعات الشمسية المركزة والتي تستفيد من الأشعاع المباشر للشمس، وسنتطرق الى هذا الموضوع بالتفصيل لاحقا، أما العالم الانكليزي أدامس، الذي كان يعيش في الهند، فقد قام أيضا ببناء آلات بخارية شمسية، وقد تمكن من صنع مرجل شمسي تمكن بواسطته من تشغيل مضخة بقوة ٢ كيلوواط.

لم تتوقف جهود العلماء في أواخر القرن التاسع عشر عند حدود بناء الآلات البخارية الشمسية بل أخذوا في البحث عن أساليب وتطبيقات جديدة، فقد تم انشاء جهاز لتقطير الماء والحصول على المياه العذبة في مدينة لاس سالييناس في تشيلي، وكانت مساحة المقطر ٤٧٠٠ متر مربع وينتج ٢٣ الف ليتر من الماء العذب في الأيام المشمسة، أما التطور المهم الآخر الذي حصل فهو الفكرة التي طرحها وستون حول توليد الكهرباء مباشرة من الأشعة الشمسية وذلك باستعمال المزدوجات الحرارية Thermocouples، اذ حين يتعرض أحد طرفي المزدوج الى نور الشمس فانه يسخن بينما يكون الطرف الأخر باردا مما يؤدي الى توليد جهد كهربائي.

مع بداية القرن العشرين أخذ الاهتمام بانتاج الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية يزداد انتشارا، ولم تكن طريقة المزدوجات الحرارية هي

التي اتبعها علماء تلك الفترة بل إنهم أخذوا باستخدام السوائل التي تتبخر على درجات حرارة منخفضة نسبيا واستعمالها من ثم في توليد الكهرباء، وقد صاحب هذا الاهتمام حصول تطور في طبيعة المجمعات الشمسية فبعد أن كانت المرايا العاكسة هي الاسلوب الأكثر شيوعا لتجميع أشعة الشمس فقد دخلت المجمعات المسطحة الى حيز التطبيق، وتمتاز المجمعات المسطحة بانها سهلة التصنيع وغير مكلفة ذلك أنها تتكون في الأساس من صفيحة معدنية تطلى باللون الأسود أو بطلاء كيماوي ذي خصائص ملائمة للاستخدامات الشمسية وتوضع الصفيحة داخل صندوق مغطى بطبقة أو أكثر من الزجاج، وقد استخدم الامريكيان ويلزي وشومان المجمعات المسطحة في تجميع الطاقة الشمسية واستخدامها في تبخير السوائل المتطايرة لتشغيل محطات توليد الطاقة الكهربائية التي كانت بشكل عام صغيرة الحجم ولا تتعدى قوتها عشرات قليلة من الكيلوواط. وقد قام شومان بالتعاون مع شركة أمريكية في عام ١٩١٢ ببناء أكبر مضخة شمسية في العالم آنذاك في منطقة المعادي في مصر. وبلغت قوة الطاقة الكهربائية الناتجة ٣٧ الى ٤٥ كيلوواط، غير أن المحطة لم تعمل أكثر من عامين بسبب نشوب الحرب العالمية الأولى.

في ثلاثينات القرن الحالي أخذ العلماء يهتمون باستخدام الطاقة الشمسية لتلبية متطلبات البيوت والمساكن واحتياجاتها من المياه الساخنة وتدفئتها بالطاقة الشمسية، فقد شهد عقد الثلاثينات اتساع الاهتمام بالسخانات الشمسية في اليابان ذلك أن مصادر الطاقة في هذا البلد قليلة، ومما ساعد على انتشار هذه الظاهرة أن العالم شهد أزمة اقتصادية واسعة شملت معظم دوله في أوائل الثلاثينات. وأما الاتجاه الآخر فقد انصب على تدفئة البيوت بالطاقة الشمسية، فقد قام العالم السويسري هوتنجر ببعض التجارب في معهد التكنولوجيا في زيورخ، وتبعه بعد ذلك الأمريكي هوتل من معهد ماساشوستس في أمريكا، وقد بنيت الكثير من الآمال آنذاك حول مستقبل الطاقة الشمسية ومدى مساهمتها في تلبية

الاحتياجات من المياه الساخنة وتدفئة المساكن، غير أن الحرب الثانية وضعت حدا لهذه الآمال ليتبعها بعد ذلك دخول العالم عصر النفط والطاقة الرخيصة مما أدى الى تراجع أبحاث الطاقة الشمسية.

ان اتجاه علماء الثلاثينات نحو استخدام الطاقة الشمسية في التدفئة وتسخين المياه يكتسب أهمية خاصة ذلك أن هذه التطبيقات تندرج تحت ما يعرف بالطاقة الحرارية ذات درجات الحرارة المنخفضة والتي لا تتجاوز ٥٠ درجة مئوية، وهي من أكثر التطبيقات فعالية في مجال استخدام الطاقة الشمسية وأسهلها تكنولوجيا مما يجعل استعمالها شائعا بشكل واسع في ذات الوقت.

استمر الاهتمام بموضوع الطاقة في الخمسينات محصورا ضمن نطاق أكاديمي، ولكن برغم ذلك حصلت حادثتان كان لهما فيما بعد آثار واسعة في استخدام الطاقة الشمسية. ففي العام ١٩٥٤ أعلنت شركة بيل للتلفونات عن انتاجها للخلايا الشمسية التي تصنع من السيلكون وتقوم بتحويل الاشعاع الشمسي الى طاقة كهربائية بشكل مباشر، وأما الحادث الآخر فقد كان اعلان الاتحاد السوفيتي في عام ١٩٥٨ عن اطلاقه أول قمر اصطناعي، الأمر الذي أثار ضجة في أمريكا حول احتمال تفوق الاتحاد السوفيتي تكنولوجيا وما يستتبعه ذلك من آثار، وتكمن أهمية الخلايا الشمسية في أبحاث الفضاء في أنها مصدر الطاقة الأساسي المستخدم في سفن الفضاء، هذا بالطبع اذا استثنينا تزويد المركبة الفضائية بمفاعل نووي، وقد أدى الحدث السوفياتي الى زيادة الاهتمام بالخلايا الشمسية خاصة وأن مسائل التكلفة والجوانب الاقتصادية لم تكن ذات أهمية في هذا المجال، ومن جانب آخر فقد أدت رحلات الفضاء الى اتاحة الفرصة أمام العلماء للقيام بدراسات واسعة وتفصيلية عن الاشعاع الشمسي مما زاد من كمية المعلومات الخاصة بالطاقة الشمسية.

وقد تركز معظم أبحاث الطاقة الشمسية بعد ذلك على توليد الطاقة الكهربائية بمختلف الطرق الممكنة، ويعود السبب في هذا الى أن استعمال الكهرباء قد شاع بشكل واسع نظرا لان الطاقة الكهربائية تتميز بمرونتها الواسعة وبامكان تحويلها بسهولة الى أشكال أخرى من الطاقة كالطاقة الحرارية والميكانيكية، وهي في ذات الوقت طاقة «نظيفة» في محل الاستعمال بمعنى أن آثارها التلويثية تحصل في محطة التوليد حين توليد الكهرباء وليس حين استعمالها للاضاءة أو تشغيل الموتورات أو تسخين المياه في نقاط الاستعمال النهائي لهذه الطاقة.

ولكن عصر الطاقة الرخيصة لم يستمر طويلا اذ سرعان ما حصلت تطورات جذرية على صعيد وضع الطاقة العالمي في أوائل السبعينات نتج عنها زيادة أسعار مصادر الطاقة بمختلف أشكالها من فحم وغاز ونفط، وقد ترافق مع هذا ازدياد الوعي بأن مصادر الطاقة الأحفورية محدودة الأجل ولا يمكن الاستمرار في استنزافها وتبذيرها، وأنه لا مناص من البحث عن مصادر أكثر ديمومة من النفط ومشتقاته. وقد ترتب على هذا أن احتلت الطاقة الشمسية مركز الصدارة باعتبارها المصدر المرشح لتلبية بعض احتياجات البشر من الطاقة على المدى القصير مع توفر امكانات أن تتسع مساهمتها في المستقبل.

شهدت فترة السبعينات وحتى وقتنا الحاضر انتشار أبحاث الطاقة الشمسية وتطبيقاتها في معظم دول العالم ومن ضمنها الدول العربية، وقد توسعت أبحاث الطاقة الشمسية لتشمل العديد من المجالات ولتشهد أيضا تطويرات مستمرة تهدف الى زيادة كفاءة استخدام الأجهزة الشمسية، وقد نشأت العديد من الشركات التي أخذت تقوم بتصنيع مختلف الأجهزة الشمسية وتسويقها، هذا وسنشير الى وضع الطاقة الشمسية على المستوى العالمي في وقتنا الحاضر في جزء لاحق من هذا الفصل.

الشمس :

الشمس هي نجم المجموعة الشمسية التي تضم بالاضافة الى الشمس نفسها تسعة كواكب رئيسية ولكثير منها أقمار اضافة الى مجموعة من الأجسام الفضائية الأخرى كالكويكبات والنيازك والشهب، أما كواكب المجموعة الشمسية فهي عطارد والزهرة والأرض والمريخ والمشتري وزحل وأورانوس ونبتون وبلوتو. وباستثناء الأرض لم يثبت إلى الآن وجود حياة على أي من كواكب المجموعة الشمسية الأخرى. والشمس أكبر من كواكب المجموعة الشمسية مجتمعة ويبلغ وزنها حوالي ١,٩٨٦×١٠^٣٠ كيلوغرام، وهو ما يعادل حوالي ٩٩,٨٧٪ من مجمل كتلة النظام الشمسي بأجمعه، وحوالي ٣٣٣ الف مرة قدر كتلة الأرض. ويبلغ قطر الشمس حوالي ١,٤ مليون كيلومتر مقارنة بقطر الأرض الذي يبلغ حوالي ١٢٨٠٠ كيلومتر، أما المسافة بين الأرض والشمس فتبلغ حوالي ١٥٠ مليون كيلومتر(٢).

وتقول النظرية الأكثر قبولا لدى علماء عصرنا بأن تفاعلا اندماجيا يحدث في الشمس وينتج عنه اتحاد ذرات الهيدروجين بعضها مع بعض لتكوين الهيليوم. ومما يرجح وجهة النظر هذه حقيقة أن الشمس تتكون من عنصري الهيدروجين والهيليوم بشكل رئيسي، اذ تبلغ نسبة الهيدروجين حوالي ٨٠٪ والهيليوم ١٩٪ وأما الجزء المتبقي فيتكون من عناصر أخرى كالكربون والنيتروجين، ونتيجة لهذا التفاعل فانه يتم تحويل ٦×١٠^١١ كيلوغرام من الهيدروجين الى هيليوم في كل ثانية، واذا أخذنا كتلة الشمس بعين الاعتبار فانه يمكن القول إن هناك ما يكفي من الهيدروجين لاستمرار التفاعل الاندماجي لحوالي خمسة آلاف مليون سنة.

تبلغ درجة حرارة الشمس في مركزها حوالي ٢٠ مليون درجة كالفن (مئوية)، أما درجة حرارة الطبقة الخارجية فتبلغ حوالي ٦ آلاف درجة

---

(٢) Kopal, Z, The Solar System, Oxford University Press, London, U.K, 1972 PP. 6-9

كالفن،وفي الواقع لا تكون درجة حرارة الطبقة الخارجية متجانسة، فلو نظرنا الى توزيع درجة حرارة قرص الشمس لتبين أن درجة حرارة مركز القرص تبلغ حوالي ٦٨٠٠ درجة كالفن بينما تصل على الأطراف الى حوالي ٥٦٠٠ درجة كالفن.

وتعتبر طبقة الفوتوسفير مصدر الاشعاع الرئيسي من الشمس وتبلغ درجة حرارتها حوالي ٦ آلاف درجة كالفن، تشع الشمس طاقة بمعدل $٣,٨٥ \times ١٠^{٢٣}$ كيلوواط تستقبل الأرض منها حوالي $١,٨ \times ١٠^{١٤}$ كيلوواط. واذا أخذنا بعين الاعتبار أن استهلاك العالم من الطاقة يبلغ حوالي $١٠^{١٠}$ كيلوواط تبين أن كمية الطاقة الشمسية التي تتلقاها الأرض تعادل حوالي ٢٠ الف مرة قدر استهلاك العالم من الطاقة (٣).

ان كمية الطاقة الشمسية التي تتلقاها الأرض كبيرة جدا مقارنة باحتياجات العالم من الطاقة غير أن علينا ادراك حقيقة أن هذه الطاقة تسقط على سطح الأرض الذي يتألف من بحار وجبال ووديان ومناطق طبوغرافية مختلفة، فمثلا تغطي البحار حوالي ٧٠٪ من سطح الأرض وهي مناطق غير ملائمة لاستغلال الطاقة الشمسية سواء نتيجة لبعدها عن اليابسة أو للتكلفة الاقتصادية العالية، كذلك فان هناك مساحات واسعة من الصحاري التي تتلقى كميات كبيرة من الاشعاع الشمسي غير أنها غير مأهولة بالسكان وبعيدة عن مراكز الاستهلاك مما يجعل التفكير باستغلالها غير مجد في الوقت الحاضر.

الثابت الشمسي (٤):

يعرف الثابت الشمسي بأنه كمية الطاقة الساقطة في وحدة الزمن على

٣ـ McMullan, J.T, Morgan, R, and Murray, R.B. Energy Resources and Supply, John Wiley and sons, London, U.K, 1976, PP.12 - 19.

٤ـ Meinel A.B and Meinel, M.P., Applied Solar Energy, Adison - Wesley Publishing Co. Lodnon, U.K, 1976, P. 40.

وحدة مساحة متعامدة مع الشعاع الشمسي وواقعة على سطح الغلاف الجوي المحيط بالكرة الأرضية.

يكتسب الثابت الشمسي أهمية خاصة في تطبيقات الطاقة الشمسية ذلك أنه لا يمكن في الواقع الحصول على كمية طاقة من الشمس أعلى من قيمة الثابت الشمسي، وبالنسبة لكمية الطاقة التي تصل الى الأرض فانها أقل من قيمة الثابت الشمسي بسبب انعكاس قسم من الاشعاع الشمسي او امتصاصه اثناء عبوره الغلاف الجوي.

إن بالامكان حساب قيمة الثابت الشمسي وذلك باعتبار الشمس جسماً أسود على درجة حرارة ٦ آلاف درجة كالفن، ونتيجة لهذه الحسابات ينتج أن قيمة الثابت الشمسي تبلغ ١٦٠٠ واط على المتر المربع، غير أن القياسات العملية التي أجريت بواسطة المركبات الفضائية تعطي قيمة أقل من تلك القيمة الحسابية اذ تبلغ القيمة العملية ١٣٥٣ واط على المتر المربع، ويعزى الفرق بين القيمتين الى أن القيمة النظرية تقوم على اعتبار الشمس جسماً أسود ذا درجة حرارة متجانسة بينما هي في الواقع غير ذلك كما أشرنا سابقا.

وتتغير قيمة الثابت الشمسي حسب المسافة بين الأرض والشمس، فكما هو معلوم يتخذ مدار الارض حول الشمس شكلا بيضيا مما يؤدي الى تغير المسافة بينهما. ففي أوائل يناير (كانون ثاني) تبلغ المسافة بين الأرض والشمس حوالي ١,٤٧ مليون كيلومتر، وأما في أوائل يوليو (تموز) فانها تبلغ حوالي ١,٥٢ مليون كيلومتر. وينتج عن ذلك أن قيمة الثابت تتغير بحوالي ٣,٥٪ ما بين أوائل يناير وأوائل يوليو، حيث تكون قيمة الثابت الشمسي أعلى في أوائل يناير عن معدلها الوسطى ١٣٥٣ واط على المتر المربع.

الطيف الشمسي :

يمثل الثابت الشمسي كل كمية الطاقة في الطيف الشمسي. وبالنظر

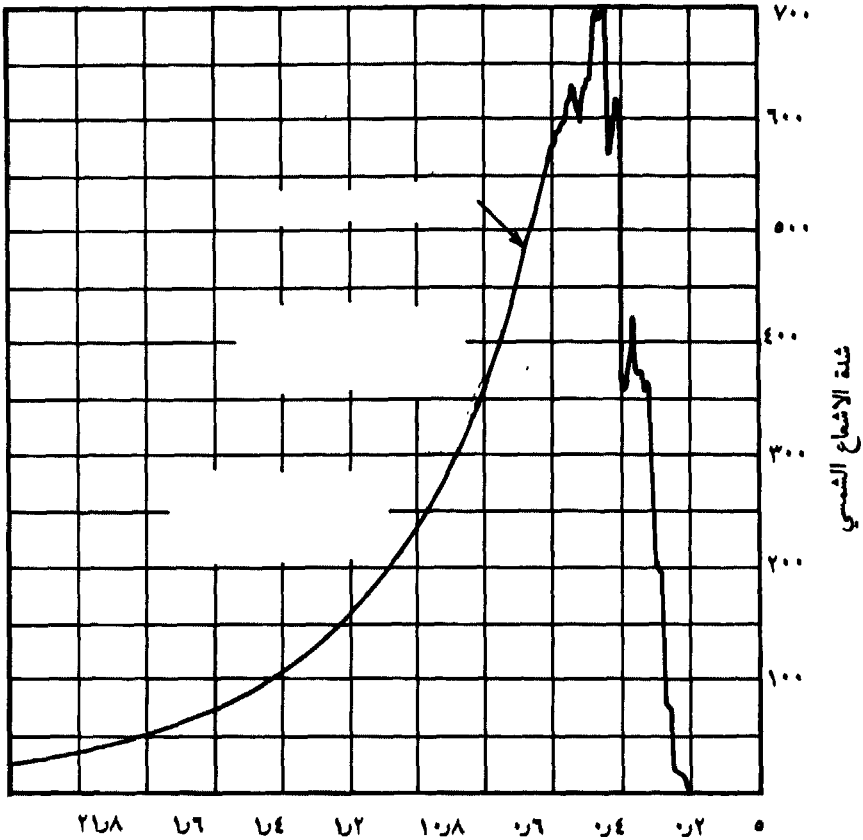
الــى الاشعاع الشمسي نجد أنه يتكون من مجموعة موجات كهرومغناطيسية تتراوح أطوالها ما بين ١١,٠ ميكرون الى ٤ ميكرونات. والواقع أن الاشعاع الشمسي يحتوي على موجات أطول غير أن كمية الطاقة فيها قليلة ولا تتجاوز ١٪ من مجمل طاقة الطيف الشمسي (٥).

ينقسم الطيف الشمسي الى ثلاثة مجالات، مجال الأشعة فوق البنفسجية ومجال الأشعة المرئية ومجال الأشعة تحت الحمراء، وتغطي الاشعة البنفسجية ذلك الجزء من الطيف الشمسي الذي يحتوي على الأشعة ذات الموجات القصيرة حتى طول ٤,٠ ميكرون، وأما الأشعة المرئية فتغطي أطوال الموجات في المجال ٤,٠ ـ ٧٥,٠ ميكرون، وأما بالنسبة للأشعة تحت الحمراء فهي تغطي ذلك الجزء من الطيف حيث تزيد طول الموجات عن ٧٥,٠ ميكرون. ويظهر في **الشكل رقم (١)** التوزيع الطيفي للاشعاع الشمسي على سطح الغلاف الجوي.

الزوايا الشمسية:

ان استخدام الطاقة الشمسية بشكل فعال يتطلب معرفة تفصيلية للعلاقة بين الشمس والمنطقة موضع الاهتمام على سطح الكرة الأرضية. فعند الحديث عن استخدام الطاقة الشمسية لابد من الأخذ بعين الاعتبار حقيقة ان الشمس هي مصدر الطاقة وان المطلوب هو رفع كفاءة استخدام هذه الطاقة. ولأجل تحقيق هذا الغرض فان الأمر يتطلب المعرفة التفصيلية والدقيقة للعلاقة بين المواقع المختلفة على سطح الأرض والشمس، وفي حديثنا عن هذه العلاقة وعن كيفية وأهمية تحديد موقع الشمس بالنسبة للمواقع المختلفة على سطح الأرض فاننا سنلجأ الى اعتبار أن المشاهد على سطح الأرض موجود في موقع ثابت لا يتحرك وأن الشمس هي التي تتحرك بالنسبة للمشاهد، ان هذه الفرضية تخالف الحقيقة القائمة القائلة بأن

Kreith, F. and Kreider, J.F, **Principles of Solar Engineering**, Hemisphere-a Publishing Corp, London, U.K, 1978, P. 39 - 42.

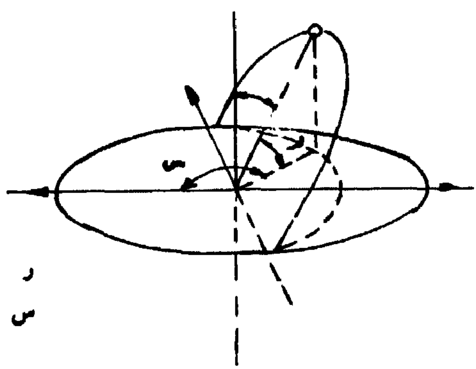


شكل (١) ـ التوزيع الطيفي للاشعاع الشمسي المباشر العمودي على سطح الغلاف الغازي المحيط بالأرض

الأرض هي التي تدور حول الشمس، غير أن النظر الى الشمس باعتبار أنها تتحرك بالنسبة لمشاهد على سطح الأرض تقدم صورة مبسطة للعلاقة الظاهرية بين حركة الأرض والشمس ولا تؤثر على الحسابات أو الاستنتاجات النهائية.

يمكن تحديد موقع الشمس بالنسبة لمشاهد يقف في نقطة على سطح الأرض اذا ما تم معرفة زاويتين اثنتين هما زاوية ارتفاع الشمس Solar Altitude Angle وزاوية السمت الشمسي Solar Azimuth Angle (٦). وتعرف زاوية ارتفاع الشمس بأنها الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين نقطة على سطح الأرض ومركز الشمس والمستوى الأفقي الذي يمر في النقطة المذكورة على سطح الأرض، أما زاوية السمت الشمسي فانها الزاوية المحصورة بين الخط المار في النقطة على سطح الأرض والمتجه جنوبا وبين المسقط الأفقي للخط الواصل بين النقطة على سطح الأرض والشمس. ويبين الشكل رقم (٢) زاويتي ارتفاع الشمس والسمت الشمسي.

شكل ٢ ـ زوايا ارتفاع الشمس والسمت الشمسي



ر زاوية ارتفاع الشمس
س زاوية السمت الشمسي

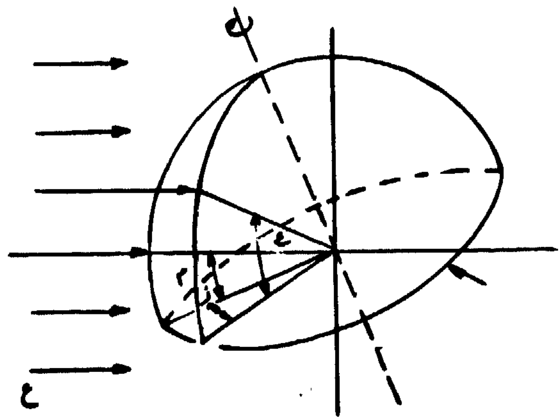
---

٦ Threlkeld, J.L, Thermal Envinomental Engineering, Prentice-Hall Inc., London, U.K, 1970, PP. 279 - 294.

تنبع أهمية الزوايا المذكورة من أنها تحدد موقع الشمس بالنسبة لنقطة ما على سطح الأرض مما يسهل بالتالي معرفة كمية الاشعاع الشمسي التي تتلقاها نقطة معينة، وتسهل أيضا معرفة زاوية سقوط أشعة الشمس وكذلك معرفة المساحات المعرضة لأشعة الشمس والمظللة في الأسطح المختلفة، فعند حساب الاشعاع الشمسي الساقط على سطح ما يتم النظر الى شعاع الشمس بأنه كمية موجهة Vector ومن ثم يمكن حساب كميات الاشعاع الساقطة على مختلف الأسطح ذلك أن ما يؤخذ بعين الاعتبار هو ذلك الجزء من الاشعاع الشمسي الساقط عموديا على أي سطح.

ويتم حساب زاويتي ارتفاع الشمس والسمت الشمسي من خلال بعض الزوايا الأخرى التي تجعل موقع النقطة موضع الاهتمام على سطح الأرض. وهذه الزوايا هي زاوية خط العرض الذي تقع عليه النقطة المذكورة Latitude Angle وزاوية ميل الشمس Declination Angle وزاوية الزمن Hour Angle ، وتظهر في الشكل رقم (٣).

شكل ٣ ـ الزوايا الشمسية



ع زاوية خط العرض
م زاوية ميل الشمس
ز زاوية الزمن

تعرف زاوية خط العرض بأنها الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين النقطة على سطح الأرض ومركز الارض ومسقط هذا الخط على المستوى المار في خط الاستواء، وتساوي هذه الزاوية خط العرض عدديا، فبالنسبة للكويت مثلا التي تقع على خط عرض ٢٩,٥° فان زاوية خط العرض تساوي أيضا ٢٩,٥°، ولتسهيل الحسابات يمكن اعتبارها ٣٠°، أما زاوية ميل الشمس فانها الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين مركزي الشمس والأرض ومسقط هذا الخط على المستوى المار في خط الاستواء، فالمعلوم أن محور دوران الأرض حول نفسها يميل بزاوية مقدارها ٢٣,٥ درجة بالنسبة لمدارها حول الشمس، وعلى هذا فان زاوية ميل الشمس تتغير حسب موقع الأرض في المدار حول الشمس خلال العام الواحد، وبسبب ميل محور دوران الأرض وبسبب دوران الأرض حول نفسها تحصل التغيرات في طول اليوم وفي كميات الاشعاع الشمسي الواصلة الى نقطة ما على سطح الارض وكذلك تحصل فصول السنة المختلفة وما يرافقها من انقلاب صيفي وشتائي وربيعي وخريفي، ومن الظواهر المهمة التي ترافق ميل محور دوران الأرض هو أن أشعة الشمس تسقط عمودية في وقت ما من السنة على المنطقة الواقعة بين خط عرض ٢٣,٥ درجة شمال و٢٣,٥ درجة جنوب خط الاستواء، ففي ٢١ حزيران (وقت الانقلاب الصيفي للمناطق شمال خط الاستواء) تسقط أشعة الشمس عمودية على مدار السرطان (٢٣,٥ درجة شمال خط الاستواء) وفي ٢١ كانون أول تسقط أشعة الشمس عمودية على مدار الجدى (٢٣,٥ درجة جنوب خط الاستواء) حيث يحدث الانقلاب الصيفي بالنسبة للمناطق جنوب خط الاستواء، وهو وقت حصول الانقلاب الشتوي للمناطق شمال خط الاستواء، وبالنسبة للكويت التي تقع على خط عرض ٣٠ درجة شمال خط الاستواء فان أشعة الشمس لا تسقط عمودية عليها في أي وقت من السنة، وان كانت تقترب من أن تكون عمودية اذ تبلغ أقصى زاوية لارتفاع الشمس بالنسبة للكويت ٨٤ درجة. والمعروف أنه حين تسقط أشعة الشمس عمودية فان زاوية ارتفاع

الشمس تساوي ٩٠ درجة.

الزاوية الأخرى المطلوبة من أجل حساب زاويتي ارتفاع الشمس والسمت الشمسي هي زاوية الزمن، وتعرف هذه الزاوية بأنها الزاوية الواقعة على المستوى المار في خط الاستواء والمحصورة بين مسقط الخط الواصل بين مركزي الأرض والشمس ومسقط الخط الواصل بين مركز الأرض والنقطة على سطح الأرض، وحين تكون النقطة موضع الاهتمام على سطح الأرض واقعة على الخط الواصل بين مركزي الأرض والشمس تكون زاوية الزمن تساوي صفرا و يكون الوقت هو وقت الظهيرة وعندها تحين صلاة الظهر، ولذلك حينما يسمع المرء أذان الظهر فعليه أن يعلم أن الشمس تكون جنوب النقطة الواقف بها مباشرة وان زاوية الزمن تساوي صفرا وأن الساعة تشير إلى الثانية عشرة حسب التوقيت الشمسي، لكننا نعلم ان وقت أذان الظهر يتغير من يوم الى آخر بالنسبة للتوقيت المحلي الذي نستعمله، وقد يحدث قبل الساعة الثانية عشرة ظهرا وربما بعدها، ان هذا الفارق يعود الى ما اصطلح عليه دوليا لتحديد الوقت في المناطق المختلفة، وسنتناول هذه النقطة بالمزيد من البحث لاحقا.

الزوايا الثلاث التي أشرنا اليها سابقاً، زاوية خط العرض وزاوية ميل الشمس وزاوية الزمن هي الزوايا الأساسية الثلاث التي يمكن بواسطتها حساب زاويتي ارتفاع الشمس والسمت الشمسي، وبالتالي معرفة موقع الشمس بالنسبة لمشاهد يقف على سطح الأرض (٧).

---

(٧) يمكن حساب زاويتي ارتفاع الشمس والسمت الشمسي حسب المعادلات التالية:

جا (ر) = جتا (ع) جتا (م) جتا (ز) +جا (ع) جا (م)

جا (س) = جتا (م) جا (ز) + جتا (ر)

حيث

وبالاضافة الى ما تقدم تجدر الاشارة الى زاوية أخرى وهي زاوية سقوط أشعة الشمس، وتعرف هذه الزاوية بأنها الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين مركز الشمس والنقطة على سطح الأرض والخط الخارج عموديا على السطح الذي تقع عليه النقطة من النقطة ذاتها، ولتسهيل الأمر نقول إن زاوية سقوط أشعة الشمس تتم زاوية ارتفاع الشمس، بمعنى أن مجموع الزاويتين يساوي ٩٠ درجة، وكلما قلت زاوية سقوط أشعة الشمس كلما كان سقوط الأشعة أكثر عمودية، وحين تساوي هذه الزاوية صفرا تكون أشعة الشمس عمودية على النقطة المذكورة (٨).

ر = زاوية ارتفاع الشمس	Altitude Angle
ع = زاوية خط العرض	Latitude Angle
م = زاوية ميل الشمس	Declination Angle
ز = زاوية الزمن	Hour Angle
س = زاوية السمت الشمسي	Azimuth Angle
جا = جيب الزاوية	
جتا = جيب تمام الزاوية	

(٨) وبالنسبة لمن يرغب في معرفة المزيد عن طرق حساب الزوايا الشمسية أو يرغب في إجراء بعض الحسابات المتعلقة بوقت شروق الشمس وغروبها وطول النهار ومعرفة موقع الشمس بالنسبة لموقعه على الأرض خلال أوقات السنة المختلفة، وحتى لمن يرغب في عمل بعض الخرائط الشمسية فاننا سنقدم بعض المعلومات الاضافية.

هناك معادلة بسيطة يمكن بواسطتها حساب زاوية ميل الشمس، وتأخذ المعادلة الشكل التالي:

جا (م) = جا ٢٣,٥° جا (ن ـ ٨١) × ٠,٩٨٦)

جا (م) = ٠,٤ جا (ن ـ ٨١) × ٠,٩٨٦)

حيث

م = زاوية ميـل الشمس.

ن = رقم اليوم خلال السنة وتقع القيمة بين ١ ـ ٣٦٥ اعتبارا من بداية العام في ١ كانون الثاني (يناير).

فعلى سبيل المثال اذا أردنا حساب زاوية ميل الشمس في ٢١ آذار نجد أنها تساوي صفراً لأن المقدار (ن- ٨١) يساوي صفراً (اذا كانت السنة كبيسة) أو يساوي ١ (اذا كانت السنة بسيطة)، وفي كلتا الحالتين تكون الزاويةم تساوي صفرا، وهذا التاريخ هو وقت الانقلاب الربيعي حيث تكون الشمس عمودية على خط الاستواء، أما في ٣٠ نيسان حيث رقم اليوم يساوي ١٢٠ فان الزاويةم تساوي ١٤,٤ درجة.

وحتى تكتمل معرفتنا بالزوايا الأساسية المطلوبة لحساب زاويتي ارتفاع الشمس والسمت الشمسي فلابد من معرفة زاوية الزمن، ومن أجل حساب هذه الزاوية فاننا سنفرد الجزء اللاحق للحديث عن الوقت الشمسي والوقت المحلي وعلاقتها بزاوية الزمن.

الوقت الشمسي والوقت المحلي:

إن التوقيت المعمول به في العالم هو توقيت اصطلاحي يقوم على اعتبار أن خط الطول المار في مدينة غرينتش في بريطانيا يساوي صفرا، وبالنسبة لهذا الخط المرجع فقد تم تقسيم العالم الى مناطق زمنية مختلفة، وحسب التقسيم المعمول به فان المسافة بين خطي طول تعادل ٤ دقائق، أو كل ١٥ درجة في خطوط الطول تعادل ساعة واحدة، لكن حيث إن الفروق بين المناطق الزمنية المختلفة يكون مضاعفات الساعة (أقل فارق معمول به بين منطقتين متجاورتين يساوي نصف ساعة) فان الأوقات الاصطلاحية المعمول بها لا تعطي القيمة الحقيقية للوقت المحلي ذلك أن مثل هذه الأوقات المعمول بها قائمة على أساس تقسيم العالم الى مناطق زمنية، فبالنسبة للمناطق التي لا تقع على الخطوط المراجع للمناطق الزمنية المختلفة فان الوقت المحلي المعمول به لا يعطي الصورة الصحيحة عن الوقت

الصحيح، ومن أجل حساب الوقت الصحيح المعدل في أية منطقة تستعمل العلاقات التالية:

الوقت المعدل = الوقت المحلي الاصطلاحي ∓ ٤ (خط الطول القياسي للمنطقة ــ خط الطول الحقيقي).

اذا كانت المنطقة موضع الاهتمام تقع شرق خط الطول المار في غرينتش تستعمل الاشارة السالبة (ــ)، أما اذا كانت المنطقة غرب غرينتش فتستعمل الاشارة الموجبة+، فعلى سبيل المثال تقع الكويت على خط طول ٤٨ شرق غرينتش ويعمل فيها بالوقت الاصطلاحي بالنسبة لخط الطول ٤٥ شرق غرينتش، بمعنى أن فارق الوقت بين توقيت الكويت وتوقيت غرينتش يساوي ٣ ساعات. لكن اذا قمنا بحساب الوقت المحلي الفعلي نجد أنه يتقدم على توقيت غرينتش بمقدار ٣ ساعات و١٢ دقيقة. ويتضح هذا من تطبيق المعادلة السابقة حيث:

الوقت المعــدل= الوقت المحلي الاصطلاحي ــ ٤ (٤٥ــ٤٨)

= الوقت المحلي الاصطلاحي +١٢

اضافة الى ما تقدم فان هناك فارقا بين الوقت المعدل والوقت الشمسي. ويعود السبب في هذا الى طبيعة دوران الأرض والشكل الاهليلجي لمدار الأرض حول الشمس. فالأمر المتعارف عليه بالنسبة لنا أن طول اليوم يساوي ٢٤ ساعة غير أن طول اليوم الشمسي يتغير قليلا عن ذلك للأسباب التي ذكرناها. لذلك فن أجل حساب الوقت الشمسي يجب أخذ الفارق بين اليوم الاصطلاحي واليوم الشمسي بعين الاعتبار. ويعرف الفرق بين الوقت الشمسي والوقت المحلي المعدل بمعادلة الوقت Equation of Time

وعلى ذلك يمكننا وضع العلاقة التالية بين الوقت الشمسي والمحلي المعدل:

الوقت الشمسي المحلي= الوقت المحلي المعدل + معادلة الوقت

تتغير القيمة العددية لمعادلة الوقت خلال العام الواحد. ومن أجل تزويد القارىء بفكرة عن مدى هذه الفروق ندرج في **الجدول رقم (١)** قيمة معادلة الوقت في منتصف أشهر السنة المختلفة (٩).

يمكن حساب زاوية الزمن التي تكلمنا عنها سابقا من خلال معرفة الوقت الشمسي. فقد ذكرنا أنه في الساعة الثانية عشرة ظهرا حسب التوقيت الشمسي تكون زاوية الزمن تساوي صفرا، بمعنى أن النقطة المذكورة تكون واقعة على الخط الواصل بين مركزي الشمس والأرض (١٠).

جدول رقم (١)

القيمة العددية لمعادلة الوقت في منتصف الشهر

الشهر	القيمة	
	ثانية	دقيقة
كانون الثاني ـ يناير	١٢	٩ـ
شباط ـ فبراير	١٥	١٤ـ
آذار ـ مارس	١٤	٩ـ
نيسان ـ ابريل	١٥	٠ـ
آيار ـ مايو	٤٤	٣
حزيران ـ يونيو	٠,٠٩	٠,ـ
تموز ـ يوليو	٤٥	٥ـ
آب ـ اغسطس	٣٥	٤ـ
أيلول ـ سبتمبر	٢٩	٤
تشرين الأول ـ اكتوبر	٥٩	١٣
تشرين الثاني ـ نوفمبر	٢٩	١٥
كانون الأول ـ ديسمبر	١٣	٥

٩ـ Threkeld, Op. Cit. P. 286.

١٠ـ انظر توضيحا لهذه المسألة في القسم الملحق بهذا الفصل.

أثر الغلاف الغازي على الأشعاع الشمسي:ـ

إن للغلاف الغازي تأثيرا كبيراً على الاشعاع الشمسي وعلى الاحتفاظ بدرجة حرارة الجو بشكل مقبول، وكما ذكرنا أعلاه يحتوي الطيف الشمسي على أشعة فوق بنفسجية تتميز فوتوناتها بأنها تحمل طاقة أكبر من طاقة الربط الكيمياوية التي تربط بين جزيئات الأجسام الحية، واذا حصل أن تعرضت الأجسام الحية للأشعة فوق البنفسجية فان ذلك سيؤدي الى تدمير الروابط الكيمياوية بين جزيئاتها. ولحسن الحظ فان الطبقة العليا من الغلاف الغازي المحيط بالأرض تتكون من الأوزون O_3 الذي يمتلك قدرة كبيرة على امتصاص الأشعة فوق البنفسجية.

من جانب آخر لو نظرنا الى الأرض باعتبارها جسما حراريا لوجدنا أن معظم اشعاعاتها الحرارية تكون اشعاعات ذات موجات طويلة، أي من نوع الأشعة تحت الحمراء، ومن الخصائص المميزة لثاني أوكسيد الكربون ولبخار الماء الموجودين في الغلاف الغازي المحيط بالأرض أنهما يمتصان هذا النوع من الاشعة ويعيدان اشعاع جزء منه الى سطح الأرض مرة أخرى، ونتيجة لهذا التأثير فان سطح الأرض يحتفظ بدرجة حرارة كالتي نعرفها، ومن الجدير أن نشير هنا الى بعض ما يقال عن أن درجة حرارة الغلاف الغازي المحيط بالأرض ترتفع بشكل قد يؤدي الى انصهار الجليد الموجود في القطبين الشمالي والجنوبي مما قد ينجم عنه اغراق مساحات كبيرة من المناطق الواقعة على شواطىء العالم، ويعتمد أصحاب الرأي هذا في تحليلاتهم على حقيقة أن نسبة ثاني أوكسيد الكربون في الجو تزداد بسبب الكميات الكبيرة من الوقود التي يجري استهلاكها وحرقها، وهو الأمر الذي يؤدي الى توليد ثاني أوكسيد الكربون وزيادة نسبته في الجو، ومن هنا نستطيع ادراك الوظائف القيمة التي تمارسها النباتات الخضراء في العالم حيث تقوم باستعمال ثاني أوكسيد الكربون وتعيد للجو الاوكسجين في عملية التمثيل الضوئي وبذا تحفظ نسبة مكونات الهواء في الطبيعة ثابتة.

لكن اذا كانت مكونات الغلاف الغازي المحيط بالكرة الأرضية تؤدي هذه الوظائف المهمة فان ذلك يحصل على حساب إحداث بعض التغيرات على الاشعاع الشمسي أثناء عبوره الغلاف الغازي وقبل وصوله الى سطح الأرض، فحين عبور الاشعاع الشمسي للغلاف الغازي يصطدم بمكونات هذا الغلاف من جزيئات الهواء الى بخار الماء وذرات الغبار والرمال العالقة في الجو اضافة بالطبع الى الغيوم، وتتجسد تأثيرات مكونات الغلاف الغازي على الاشعاع الشمسي في جانبين أساسيين هما :

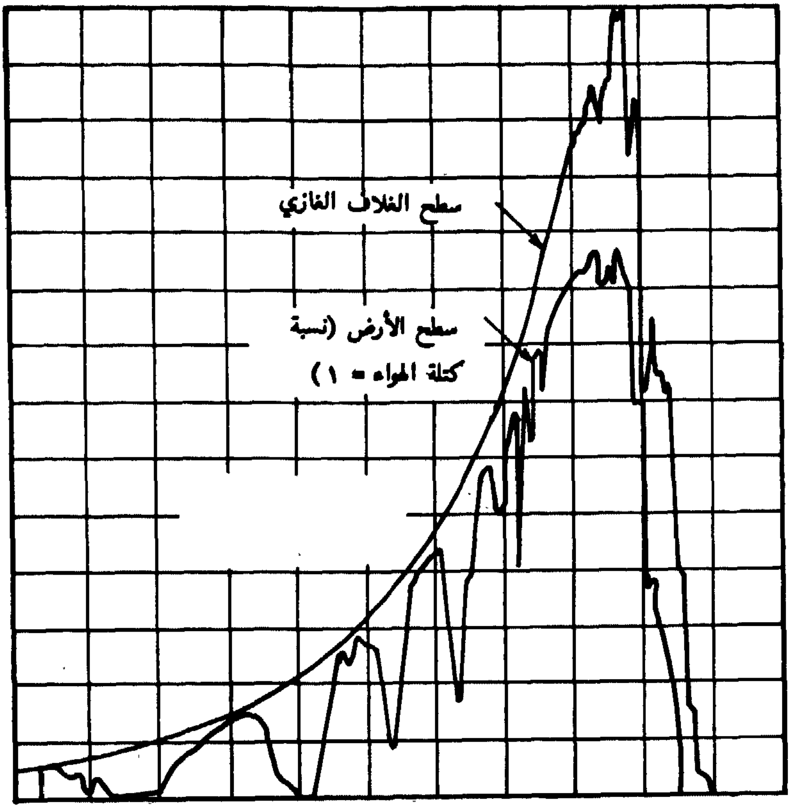
١ ــ امتصاص جزء من الاشعاع الشمسي، فكما ذكرنا يمتص الاوزون O_3 جزءا كبيرا من الأشعة فوق البنفسجية وكذلك يقوم بخار الماء بامتصاص أجزاء أخرى من الاشعاع الشمسي.

٢ ــ تبعثر جزء من الاشعاع الشمسي في الجو في الاتجاهات المختلفة نتيجة لعمليات الانعكاس والانكسار، ويصل جزء من هذا الاشعاع المتبعثر الى الأرض بينما ينتشر جزء آخر في اتجاهات مختلفة الى الفضاء، أما ذلك الجزء من الاشعاع الشمسي الذي لا يتأثر بأي من عوامل الامتصاص والانتشار فإنه يصل الى سطح الأرض دون تغير في أطوال موجاته. ويظهر في **الشكل رقم (٤)** تأثير الغلاف الغازي على التوزيع الطيفي لأشعة الشمس.

مما تقدم يتضح أن هناك نوعين من الاشعاع الشمسي لهما علاقة وثيقة بتطبيقات الطاقة الشمسية واستعمالاتها وهما :

١ ــ الاشعاع المباشر، وهو ذلك الجزء من الاشعاع الشمسي الذي يصل الى سطح الأرض ولا يتأثر بعوامل الامتصاص أو الانتشار.

٢ ــ الاشعاع المنتشر، وهو ذلك الجزء من الاشعاع الشمسي الذي يصل الى سطح الأرض بعد أن يتعرض لعوامل الانعكاس والانكسار.



شكل ٤ ــ تأثير الغلاف الغازي على التوزيع الطيفي للاشعاع الشمسي المباشر العمودي

الأشعاع الشمسي على الأسطح المختلفة :ــ

حين نتحدث عن كمية الاشعاع الشمسي الساقطة على سطح ما فاننا نعني بذلك الاشعاع الساقط عموديا على السطح المذكور، واذا حدث أن كان السطح المذكور غير متعامد مع شعاع الشمس فاننا نقوم بحساب ذلك الجزء الذي يسقط عموديا آخذين بعين الاعتبار ان الشعاع الشمسي هو كمية موجهة Vector وان بالامكان ايجاد قيمة مكوناته في الاتجاهات المختلفة اذا ما تمت معرفة زاوية سقوطه على السطح المذكور، وعلى ذلك تطلق أسماء مختلفة على الأشعاع الشمسي أو مكوناته الساقطة عموديا على سطح ما، وفي تطبيقات الطاقة الشمسية يشيع استعمال الأسماء التالية لوصف الاشعاع الشمسي أو مكوناته :

١ ــ الاشعاع المباشر العمودي وهو الاسم الذي يطلق على الاشعاع المباشر الذي أشرنا اليه أعلاه حين يسقط على سطح متعامد مع الشمس، أي أن الخط العمودي الخارج من هذا السطح يمر في مركز الشمس، ولأجل الاستفادة القصوى من هذا الاشعاع يحسن توجيه اللاقطات الشمسية طوال النهار بحيث يكون سطحها متعامدا باستمرار مع الشمس،ويجدربناالقول إن عملية التوجيه هذه تقتضي تحرك اللاقط حول محورين يقوم احدهما بتتبع حركة الشمس من الشرق الى الغرب واما الآخر فيأخذ بالاعتبار تغير زاوية ارتفاع الشمس.

٢ ــ الاشعاع المباشر وهو ذلك الجزء من الاشعاع المباشر العمودي الساقط عموديا على سطح ليس متعامدا مع الشمس، ومن الضروري عدم الخلط بين هذا الاشعاع المباشر وما اشرنا اليه قبل قليل كاشعاع مباشر عمودي، ولتوضيح مفهوم هذا الاشعاع نقول إن زاوية ارتفاع الشمس في الكويت لا تصل الى ٩٠° كما رأينا فيما سبق بسبب ان الكويت تقع شمال مدار السرطان، ولذلك فان الاشعاع لا

يسقط عموديا على السطح الأفقي في الكويت، من جانب آخر فان الأسطح الأفقية كغيرها من الأسطح التي تتعرض للاشعاع الشمسي تتأثر بهذا الاشعاع، ولحساب مقدار التأثير هذا يتم حساب الجزء الذي يسقط عموديا على السطح الأفقي ناظرين إلى الاشعاع الشمسي المباشر باعتباره كمية موجهة، وهذا الجزء العمودي هو ما يحتاجه العامل في حقل الطاقة الشمسية للقيام بحساباته أو عمل التصاميم وهو ما يعرف في هذا المجال باسم الاشعاع المباشر، والعلاقة بين الاشعاع المباشر العمودي والاشعاع المباشر هي علاقة هندسية مباشرة اذ في حال معرفة أي منها يمكن حساب الآخر بسهولة من خلال العلاقة التالية :

الاشعاع المباشر = الاشعاع المباشر العمودي × جيب زاوية ارتفاع الشمس

٣ ــ الاشعاع المنتشر، وهو ذلك الجزء من الاشعاع المبعثر في الجو الذي يسقط على سطح ما، وحين تكون السماء ملبدة بالغيوم بحيث لا تخترقها الأشعة المباشرة فان كل الاشعاع المتوفر حينئذ هو اشعاع منتشر، وفي أيام الصحو حيث لا غيوم ولا عواصف ترابية أو رملية فان كمية الاشعاع المنتشر تكون قليلة.

٤ ــ الاشعاع الشامل أو الكلي، وهو مجموع الاشعاعين المباشر والمنتشر الساقطين على سطح ما مهما كان اتجاهه.

ان لكل من الاشعاعات السالفة استعمالاته الخاصة في مجال تطبيقات الطاقة الشمسية حسب طبيعة الأمور المطلوب تحقيقها أو انجازها، وتبعا لذلك فان هناك أنواعاً عديدة من اللاقطات أو المجمّعات الشمسية Solar Collectors التي يستعمل كل منها للاستفادة من واحد من الاشعاعات السالفة او اكثر، فهناك مجمعات مسطحة تستفيد من الاشعاع

الشامل وأخرى مقعرة تدور حول محور واحد وتستخدم الاشعاع المباشر وثالثة تدور حول محورين وتستفيد من الاشعاع المباشر العمودي، وسنتناول بعض أنواع هذه المجمعات الشمسية بالتفصيل لاحقا.

حساب الاشعاع الشمسي:ـ

إن المسألة الأكثر إلحاحا وأهمية في مجال تطبيقات الطاقة الشمسية هي معرفة: كم من الاشعاع الشمسي يتوفر في المنطقة موضع الاهتمام؟ ففي تطبيقات الطاقة الشمسية يمثل الاشعاع الشمسي مصدر الطاقة الرئيسي الذي يتم استخدامه لتأدية مهمات معينة، ولذلك يتطلب التعامل العلمي مع تطبيقات الطاقة الشمسية ضرورة معرفة ما يتوفر من اشعاع شمسي في موقع التطبيق، وتتضمن مثل هذه المعرفة الالمام بخصائص الاشعاع الشمسي على المدى القصير والطويل بمعنى دراسة الجوانب المتعلقة بالتغيرات اللحظية لهذا الاشعاع خلال اليوم الواحد على مدار العام والالمام بالطبيعة العامة لهذا الاشعاع ومعرفة معدلات سقوطه، وغالبا ما يلجأ المختصون بالطاقة الشمسية الى اعداد جداول تبين مقادير الاشعاع الشمسي المتوقع سقوطها في منطقة ما خلال العام بناء على النتائج التي يحصلون عليها بواسطة القياسات، كما قد يلجأ البعض الآخر الى اعداد نماذج رياضية تحدد الاشعاع الشمسي خلال العام ويمكن استعمالها لحساب مقاديره لحظيا او خلال يوم كامل أو حتى خلال العام الكامل.

لو افترضنا جدلا أن الاشعاع الشمسي لا يتأثر بمكونات الغلاف الغازي المحيط بالأرض لكان من السهل جدا أن نحسب كميات الاشعاع الشمسي التي تتلقاها المناطق المختلفة في العالم ذلك أن المطلوب معرفته هو قيمة الثابت الشمسي وزاوية ارتفاع الشمس، لكن كما ذكرنا فيما سبق فان مكونات الغلاف الغازي تؤثر على اشعة الشمس وبالتالي على كمية الاشعاع الواصل الى الأرض.

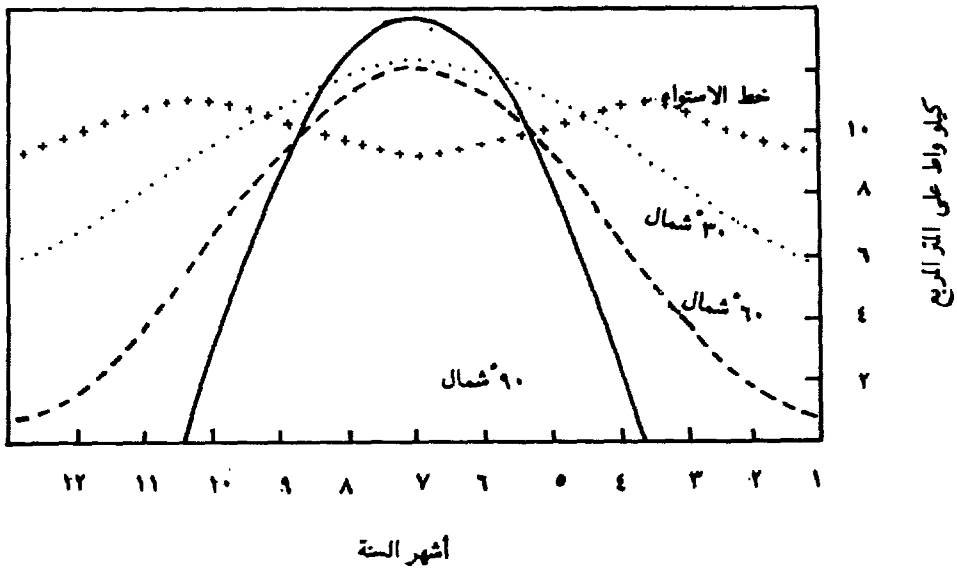
وعلى أية حال تتوفر في الكتب المتعلقة بالطاقة الشمسية معلومات عن توزيع الاشعاع الشمسي على سطح الغلاف الغازي المحيط بالأرض Extra terrestial Radiation ففي المسافة بين الشمس وسطح هذا الغلاف يسير الاشعاع الشمسي دون أن تعترض طريقه العوائق ودون أن يتعرض لعمليات الامتصاص والانتشار التي يتعرض لها حال دخوله الغلاف الجوي المحيط بالأرض، ولذا فان معرفة توزيع الاشعاع الشمسي على سطح هذا الغلاف يخدم كمرجع يمكن بواسطته معرفة مدى تأثير الطبقة الهوائية في منطقة ما على الاشعاع الشمسي حيث إن الاشعاع على سطح الغلاف الغازي هو الحالة المثالية التي لا يمكن أن تحصل في أية منطقة في العالم، ولحساب القيمة اللحظية لمقدار الاشعاع الشمسي على سطح أفقي على سطح الغلاف الغازي المحيط بالأرض يكون المطلوب هو ايجاد زاوية ارتفاع الشمس بالنسبة لذلك السطح وهي التي تساوي نفس زاوية ارتفاع الشمس بالنسبة لسطح أفقي على نفس خط العرض على سطح الأرض. ولايجاد قيمة الاشعاع الشمسي تستعمل العلاقة التالية :ـ

الاشعاع الشمسي على سطح أفقي على سطح الغلاف الغازي =

الثابت الشمسي × جيب زاوية ارتفاع الشمس

وكما ورد فيما سبق فان قيمة الثابت الشمسي تساوي ١٣٥٣ واط على المترالمربع

ولكي نحسب كمية الاشعاع الشمسي خلال يوم كامل علينا ان نقوم بعملية تكاملية تغطي فترة الاشعاع الشمسي طول اليوم، ويحتوي **الشكل رقم(٥)** على منحنيات تمثل قيمة الاشعاع الشمسي على الأسطح الأفقية على سطح الغلاف الغازي المحيط بالأرض على درجات عرض مختلفة، ويتضح من الشكل المذكور أن أعلى كمية من الاشعاع الشمسي خلال اليوم الواحد على سطح الغلاف الغازي تسقط عند القطب الشمالي للمناطق شمال خط الاستواء، ولو نظرنا الى ما يحصل في الجزء الجنوبي



شكل ٥ ـ الاشعاع الشمسي اليومي على وحدة السطح الأفقي
على سطح الغلاف الغازي المحيط بالأرض

لوجدنا أن أعلى كمية من الاشعاع الشمسي تسقط عند القطب الجنوبي ذلك أنه يتعرض للاشعاع حين تكون الشمس أقرب ما تكون الى الأرض، وعلى ذلك فان كمية الاشعاع الشمسي خلال يوم واحد على سطح أفقي فوق القطب الجنوبي وعلى سطح الغلاف الغازي تصل الى قيمتها العظمى في ٢١ كانون أول وتبلغ ١٣,٨ كيلوواط على المتر المربع، وهي أعلى من كمية الأشعاع اليومي في أي مكان آخر.

ومن أجل حساب كمية الاشعاع الشمسي الساقطة على الأسطح المختلفة على سطح الأرض نحاول التخيل بأننا نعبر الغلاف الغازي المحيط بالأرض على شعاع شمسي، لقد رأينا أن الشعاع لا يتعرض الى تغييرات حتى وصوله الى سطح الغلاف الغازي، وما إن يبدأ بعبور الغلاف الغازي حتى يبدأ بفقدان جزء من مكوناته بواسطة الامتصاص بينما يتغير مسار أجزاء أخرى من هذا الشعاع ويبقى جزء آخر يسير في طريقه دونما تأثر. إن مقدار التغيرات التي تطرأ على الشعاع الشمسي أثناء عبوره الغلاف الغازي تعتمد على عاملين هما معامل امتصاص الجو وطول المسافة التي يقطعها الشعاع الشمسي داخل الغلاف الغازي، فمثلا حين تسقط الشمس عمودية على مكان ما فان المسافة التي يقطعها الشعاع هي سمك الغلاف الغازي، وأما حين تكون زاوية ارتفاع الشمس تساوي ٣٠° فان المسافة التي يسيرها الشعاع في الغلاف الغازي تعادل ضعف سمك الغلاف الغازي، وعليه يمكن حساب قيمة الاشعاع المباشر العمودي الواصل الى سطح الأرض بالعلاقة التالية:

الاشعاع المباشر العمودي على سطح الأرض = الثابت الشمسي × لط (ص×ل) حيث لط هو اللوغارتم الطبيعي، ص معامل امتصاص الجو، أما ل فهي طول مسار الشمس في الغلاف الغازي وتعرف بنسبة كتلة الهواء.

الواقع أن ل ليست طول المسافة التي يقطعها شعاع الشمس بالأمتار بل هي علاقة نسبية بين الطول الفعلي الذي يقطعه الشعاع وبين المسافة التي

يقطعها فيا لو كانت الشمس عمودية فوق المكان المذكور. وحين تكون الشمس عمودية فوق مكان فان المسافة التي يقطعها الشعاع الشمسي داخل الغلاف الغازي تساوي الارتفاع العمودي أو السمك العمودي لهذا الغلاف، أما حين لا تكون الشمس عمودية فان طول المسافة التي يقطعها الشعاع تساوي السمك العمودي للغلاف الغازي مقسوما على جيب زاوية الارتفاع أو مضروبا في معكوس جيب زاوية ارتفاع الشمس، وعلى ذلك فان نسبة كتلة الهواء (ل) تحسب بالمعادلة التالية :ــ

$$\text{ل} = \frac{\text{السمك العمودي للغلاف الغازي} \times \text{معكوس جيب زاوية ارتفاع الشمس}}{\text{السمك العمودي للغلاف الغازي}}$$

وبمعنى آخر: ل = معكوس جيب زاوية ارتفاع الشمس

أما بالنسبة لمعامل امتصاص الجو فانه يتأثر بطبيعة الظروف الجوية السائدة في المنطقة موضع الاهتمام، وفي العادة يتم تحديد مقدار هذا المعامل اعتمادا على الخبرة العملية المتعلقة بالقياسات الشمسية.

الآن اذا توفرت المعلومات الكاملة والكفيلة بحساب قيمة الاشعاع المباشر العمودي على مستوى سطح الأرض يصبح بالامكان حساب قيمة الاشعاع المباشر الساقطة على أي سطح، فكما ذكرنا يتم التعامل مع الاشعاع المباشر العمودي على أساس أنه كمية موجهة تحسب مكوناته الساقطة على الأسطح المختلفة اعتمادا على زاوية سقوط هذا الشعاع بالنسبة لهذه الأسطح، فمثلا اذا أردنا حساب كمية الاشعاع المباشر الساقطة على سطح أفقي على سطح الأرض فاننا نستعمل العلاقة التالية : ــ الاشعاع المباشر على السطح الأفقي = الاشعاع المباشر × جيب زاوية ارتفاع الشمس.

وبالنسبة للاشعاع المنتشر فان هناك العديد من العلاقات التي يمكن استعمالها لحساب كمياته غير أن معظمها خارج نطاق بحثنا الحالي، ولكن كما ذكرنا تعتمد كمية الاشعاع المنتشر بشكل كبير على طبيعة الظروف

المناخية السائدة ونسبة الغبار والغيوم في الجو.

وهناك العديد من العلاقات الرياضية لحساب القيم اللحظية للاشعاع الشامل أيضا، وفي العادة فان هذه العلاقات تعتمد على القياسات التجريبية التي يمكن من خلالها تحديد قيم بعض الثوابت المستعملة في هذه العلاقات التي تأخذ بعين الاعتبار طبيعة المتغيرات الطقسية في المنطقة موضع الاهتمام، ومع ذلك فهناك بعض العلاقات التي تصف الاشعاع الشامل خلال ايام الصحو فقط.

وقد تبين للمؤلف من خلال مراجعته للقياسات الخاصة بالاشعاع الشمسي في الكويت ومحاولته تطبيق بعض النماذج الرياضية المتوفرة عليها أن بالامكان الحصول على نتائج تقريبية للاشعاع الشمسي في الكويت في ايام الصحو فيما لو تم التعامل مع الاشعاع الشامل على اعتبار أنه كمية موجهة، وكل المطلوب في هذه الحالة هو ايجاد قيمة افتراضية للاشعاع في الكويت بافتراض أن الشمس عمودية ومن ثم استعمال العلاقة البسيطة التالية: ـ الاشعاع الشامل اللحظي = الاشعاع الشمسي الافتراضي × جيب زاوية ارتفاع الشمس.

وبالنسبة لبلد مثل الكويت فانه يمكن اعتبار أن قيمة الاشعاع الشامل الافتراضي تساوي ٣٢٠ وحدة حرارة بريطانية على القدم المربع أو حوالي ١ كيلو واط على المتر المربع، وقد تبين للمؤلف أيضا أن مثل هذه الطريقة رغم بساطتها تؤدي الى نتائج قريبة من المعدلات الوسطى للاحصاءات المتوفرة عن الاشعاع الشمسي الشامل في الكويت، وبالرجوع الى الشكل رقم (١٧)* يرى القارىء أننا نسند الى الدوائر المختلفة قيما مختلفة للاشعاع الشمسي الشامل في الكويت، ولذلك فلمعرفة القيمة التقريبية لهذا الاشعاع فان كل ما عليك هو أن تنظر الى ساعتك (التي نفترض أن توقيتها قريب من الوقت الشمسي) وأن تحدد على الخريطة الشمسية موقع

* انظر الشكل في القسم الملحق بهذا الفصل.

الشمس بالنسبة للكويت (مركز الخريطة) ثم تقرأ قيمة الاشعاع الشمسي مباشرة، واذا كان الوقت صحوا فان القارىء سيحصل على قيمة قريبة جدا من الواقع، ومن كان يرغب في المزيد يمكنه حساب الوقت الشمسي من المعلومات التي سنقدمها في الصفحات القادمة *

الاشعاع الشمسي في العالم العربي:

يمتد العالم العربي فوق مساحة جغرافية شاسعة تتباين فيها الظروف المناخية وتختلف المواقع بالنسبة لخط الاستواء مما يعني تغير كميات الاشعاع الشمسي في أقطار العالم العربي المختلفة، وتقترب حدود العالم العربي الجنوبية من خط الاستواء وذلك في جنوب السودان بينما تصل أجزاؤه الشمالية في شمال سوريا والعراق الى خط عرض ٣٧ شمال خط الاستواء، وأما بالنسبة لخطوط الطول فان العالم العربي يمتد ما بين خط طول ١٧ غرب غرينتش في أقصى غرب الصحراء الغربية الى خط طول ٦٠ شرق غرينتش في أقصى شرق عمان.

وتتباين الأحوال المناخية في العالم العربي من منطقة الى أخرى بحكم العوامل الجوية التي تؤثر في تكوين مناخاته، وينعكس هذا الأمر بالتأكيد على كمية الاشعاع الشمسي الواصل الى الأرض في المنطقة التي يشغلها عالمنا العربي، فهناك مناطق في العالم العربي تتأثر بالرياح الموسمية خلال فصل الصيف الأمر الذي يؤدي الى تكون الغيوم وسقوط المطر صيفا وبالتالي حجب أشعة الشمس خلال بعض أيام هذا الفصل، وهناك أيضا مناطق صحراوية تتمتع بشمس مشرقة خلال معظم أيام السنة غير أن العواصف الرملية التي تهب فيها تقلل من كميات الاشعاع الشمسي الواصل الى سطح الأرض.

ولكي نقدم للقارىء صورة عن معدلات الاشعاع الشمسي في الدول العربية المختلفة فاننا ندرج قيم المتوسطات اليومية للاشعاع الشمسي الشامل

* انظر القسم الملحق بهذا الفصل ص: ٢٨١

على السطح الأفقي في معظم العواصم العربية خلال أشهر السنة المختلفة. ونود الاشارة الى أن الأرقام الواردة في **الجدول رقم (٢)** هي بالكالوري على السنتيمتر المربع خلال اليوم الواحد، واذا رغب القارىء في تحويلها الى وحدة الكيلو واط ساعة على المتر المربع فان المطلوب هو قسمة أي رقم في الجدول على ٨٦ .

تعتبر معدلات الاشعاع الشمسي في الدول العربية ــ بخاصة في فصل الصيف ــ من المعدلات العالية في العالم اذ أن معظم الدول العربية تتمتع بمتوسط اشعاع شمسي في فصل الصيف يساوي أو يزيد عن ٧ كيلو واط ساعة على المتر المربع في اليوم الواحد، ومن أجل مقارنة الاشعاع الشمسي في العالم العربي بمعدلاته في مناطق أخرى من العالم فاننا نقدم بعض الاحصاءات عن الاشعاع الشمسي في بعض الدول في قارات مختلفة من العالم في **الجدول رقم (٣)**.

ولا يفوتنا هنا أن نشير الى مسألة جد أساسية فيما يتعلق بالطاقة الشمسية وغيرها من المعطيات الطبيعية التي تتمتع بها الدول العربية وهي أن توفر المعطيات الطبيعية بحد ذاتها لا يعني الكثير ما لم يتدخل الفكر والعمل للاستفادة من هذه المعطيات والتعامل معها بشكل عقلي منظم يتيح استخدامها وتوظيفها لخدمة انسان المنطقة، وبدون ذلك فان هذه المعطيات قد تفرز آثارا سلبية اذا ما فشل الانسان في التعامل معها، والدليل على ذلك أن بعض أنماط العمارة الحديثة القائمة حاليا في المناطق الحارة من العالم العربي غريبة عن الواقع البيئي لهذه المناطق وكل ما تفعله أشعة الشمس فيها هو أن ترفع من حرارتها صيفا الى درجة لا تطاق. أردنا بهذا أن نعطي مثالا عن الكيفية التي تتحول بها النعمة الى نقمة اذا لم يتعامل الانسان مع المعطيات الطبيعية بشكل حكيم علمي ويسخرها لمصلحته.

جدول رقم ٢ — المتوسط اليومي للاشعاع الشمسي الشامل على السطح الأفقي في الأقطار العربية

الوحدات: كالوري/ سنتيمتر مربع في اليوم

الدولة	المدينة	ك ٢	شباط	آذار	نيسان	آيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت ١	ت ٢	ك ١
الجزائر	الجزائر	٢٢٥	٣٠٠	٤٠٠	٤٨٠	٥٦٠	٤٦٠	٦٠٠	٥٦٠	٤٥٠	٣٥٠	٢٥٠	٢٠٠
البحرين	—	٣٦٠	٤٢٥	٥٠٠	٦١٠	٦٦٠	٦٢٠	٦٥٠	٦٠٠	٥٦٠	٤٨٠	٣٨٠	٣٠٠
مصر	القاهرة	٣٠٠	٤٠٠	٥٠٠	٥٨٠	٦٤٠	٦٧٠	٦٤٠	٦٠٠	٥٥٠	٤٥٠	٣٤٠	٢٨٠
العراق	بغداد	٢٩٠	٣٥٠	٤٢٠	٥٥٠	٦٦٠	٧١٠	٧٢٠	٦٦٠	٥٦٠	٤٦٠	٣١٠	٢٥٠
الاردن	عمان	٢٧٥	٣٥٠	٤٥٠	٥٦٠	٦٦٠	٧١٠	٧١٠	٦٦٠	٥٥٠	٤٥٠	٣٢٠	٢٥٠
الكويت	الكويت	٣٢٠	٤٠٠	٤٧٠	٦٠٠	٦٦٠	٧١٠	٧٠٠	٦٥٠	٦٥٠	٤٧٠	٣٦٠	٢٨٠
لبنان	بيروت	٢٥٠	٣٢٥	٤٤٠	٥٤٠	٦٤٠	٧١٠	٧١٠	٦١٠	٥٠٠	٤٠٠	٣٠٠	٢٤٠
ليبيا	طرابلس	٣٠٠	٤٠٠	٤٧٥	٥٧٥	٦٣٠	٦٦٠	٧١٠	٦١٠	٥٠٠	٤٠٠	٣٠٠	٢٨٠
المغرب	الرباط	٢٥٠	٣٤٠	٤٢٠	٥٢٠	٥٥٠	٦٥٠	٦٠٠	٥٥٠	٤٨٠	٣٧٠	٢٨٠	٢٢٠
عمان	مسقط	٣٨٠	٤٤٠	٥٢٠	٦٠٠	٦٥٠	٥٨٠	٦٠٠	٥٥٠	٥٥٠	٥٠٠	٤٠٠	٣٤٠
فلسطين	القدس	٢٩٠	٣٥٠	٤٥٠	٥٨٠	٦٧٠	٧٣٠	٧٢٠	٦٧٠	٥٧٠	٤٥٠	٣٢٠	٢٦٠
قطر	الدوحة	٣٦٠	٤٢٥	٥٠٠	٦١٠	٦٦٠	٦٢٠	٦٥٠	٦٠٠	٥٦٠	٤٨٠	٣٩٠	٣١٠
السعودية	الرياض	٣٧٥	٤٤٠	٥٢٠	٦٢٠	٦٥٠	٦٠٠	٦٠٠	٥٩٠	٥٦٠	٤٨٠	٤٠٠	٣٣٠
السودان	الخرطوم	٤٢٥	٥٠٠	٥٥٠	٥٥٠	٦٠٠	٥٥٠	٥٢٠	٥٤٠	٥٣٠	٥٠٠	٤٥٠	٤٠٠
سوريا	دمشق	٢٥٠	٣٢٥	٤٤٠	٥٤٠	٦٤٠	٧١٠	٧١٠	٦٥٠	٥٥٠	٤٥٠	٣٠٠	٢٤٠
تونس	تونس	٢٠٠	٣٠٠	٤٠٠	٥٠٠	٦٠٠	٦٥٠	٧٠٠	٦٠٠	٤٥٠	٣٥٠	٢٥٠	٢٠٠
الامارات	أبوظبي	٣٦٠	٤٢٥	٥٠٠	٦١٠	٦٦٠	٦٠٠	٦٥٠	٦٠٠	٥٦٠	٤٨٠	٤٠٠	٣٢٠
اليمن (ش)	صنعاء	٤١٠	٤٧٥	٥٣٠	٥٨٠	٥٨٠	٥٣٠	٥١٠	٥٣٠	٥٣٠	٥١٠	٤٨٠	٤١٠
اليمن (ج)	عدن	٤٢٠	٤٨٠	٥٣٠	٥٨٠	٥٨٠	٥٣٠	٥٠٠	٥٤٠	٥٤٠	٥١٠	٥٠٠	٤١٠

المصدر: Williams, J.R., Debs A.S. and Fadel, G.M. "Solar Energy Technology and Commercialization Assessment For Kuwait", G.I.T., Atlanta, U.S.A., 1979.

جدول رقم ٣
المتوسط اليومي للاشعاع الشمسي الشامل
على السطح الأفقي في مناطق مختلفة من العالم
الوحدات: كالورى/ سنتيمتر مربع في اليوم

الدولة	المدينة	كانون ٢	شباط	آذار	نيسان	آيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت ١	ت ٢	ك ١
السنغال	داكار	٤٦٠	٥٣٨	٦٣٣	٦٢٧	٦١٩	٥٨٠	٥١٢	٤٥٦	٤٦٤	٤٤٩	٤٥٢	٤٧٠
الهند	كلكتا	٥٣٢	٦١٧	٧٠١	٧٨١	٧٨٤	—	—	٨٠٠	٦٤٥	٦٢٤	٥٥٧	٥٠١
اليابان	طوكيو	١٩٠	٢٣١	٢٧٤	٣١٢	٣٤٣	٣٠٣	٣٣٦	٣٣٨	٢٥٤	٢٠٢	١٨٥	١٦٩
أمريكا	نيويورك	١٢٢	١٩١	٢٥٩	٣٦٣	٤٢٦	٤٤٦	٤٣٩	٣٦٦	٣١٦	٢٤٣	١٤٨	١٠٧
أمريكا	البوكيرك	٣٠٧	٣٦٧	٤٩٧	٦٠٦	٦٧٦	٧٤٦	٦٧٩	٦٢٤	٥٤٧	٤٦٤	٣٤٨	٢٩٢
بلجيكا	بروكسل	٥٦	١٠٨	٢٠٦	٣٤٦	٤٠٦	٤٤١	٤٠٦	٣٥٤	٢٥١	١٥٨	٧٦	٤٧
السويد	ستوكهولم	٢٩	٧٨	٢٠١	٣٠٨	٤٦٧	٥١٧	٥٠٠	٣٩٢	٢٤٣	١١٢	٣٢	١٨

المصدر: Meinel, A.B. and Meinel, M.P. "Applied Solar Energy", Addison-Wesley Publishing Company London, England, 1977, P. 51.

المجمّعات الشمسية: Solar Collectors

يتطلب الاستخدام الفعال للطاقة الشمسية ضرورة تحويلها من موجات كهرومغناطيسية الى أحد أشكال الطاقة الشائعة الاستعمال (حرارية، كهربائية، فوتوكيميائية) لاستخدامها من ثم في تلبية واحدة أو أكثر من حاجات البشر. ومن أجل تحقيق هذا الغرض يتطلب الأمر استعمال بعض الوسائل التي تقوم بتحويل الطاقة الشمسية الى أحد أشكال الطاقة سهلة الاستعمال، وحيث إن الطاقة الحرارية والكهربائية والفوتوكيميائية هي الاشكال الثلاثة الشائعة فان تحويل الطاقة الشمسية الى أي من أشكال الطاقة هذه يتطلب وسيلة ملائمة تقوم بالتعامل مع الاشعاع الشمسي وتحويله الى شكل ملائم من الطاقة، وسنطلق على هذه الوسائل اسم المجمّعات الشمسية ذلك أن مهمتها هي التقاط الطاقة الشمسية الساقطة على سطحها وتحويلها الى أحد أشكال الطاقة الشائعة الاستعمال، أما الأنواع الرئيسية لهذه المجمعات فهي:

١ ــ المجمعات الشمسية الحرارية التي تقوم بتحويل الطاقة الشمسية الى طاقة حرارة من خلال خصائص الأجسام المادية المتعلقة بالقدرة على امتصاص الأشعة الشمسية، والواقع أن الاسم الشائع لهذا النوع من المجمعات هو المجمّعات الشمسية أو اللاقطات الشمسية Solar Collectors ، وفي حديثنا لاحقا عن خصائص هذه المجمعات فاننا سنستعمل الاسم الشائع لها وهو المجمعات الشمسية، علما بأن أية وسيلة تقوم بالتقاط أشعة الشمس وتحويلها هي مجمع شمسي بفارق أن الشكل النهائي للطاقة يختلف من حالة الى أخرى.

٢ ــ المجمعات الشمسية الكهربائية (الخلايا الفوتوفولطية) وهي الأجسام التي تقوم بتحويل طاقة الاشعاع الشمسي الى طاقة كهربائية بشكل مباشر دون الدخول في عمليات التحويل، فالمعلوم أن بالامكان انتاج الطاقة الكهربائية بواسطة الحرارة الناتجة عن استعمال المجمعات الحرارية وهو الأمر

الذي يحتاج الى وسائل وسيطة أخرى مثل التوربينات والمبخرات والمكثفات، أي ضرورة الدخول في عملية تحويل الطاقة الحرارية الى طاقة كهربائية، أما في حالة المجمعات الشمسية الكهربائية فان انتاج الكهرباء يتم بصورة مباشرة، والجدير بالذكر أن بالامكان في بعض الظروف انتاج الطاقة الكهربائية مباشرة والحصول على بعض الطاقة الحرارية أيضا من المجمع نفسه غير أن هذا التطبيق ليس شائع الاستعمال بعد.

٣ ـ المجمعات الفوتوكيميائية التي تستعمل الطاقة الشمسية للقيام بتفاعلات كيماوية وانتاج المواد الكربوهيدراتية كما في حالة أوراق النبات أو انتاج الهيدروجين كما في حالة بعض الطحالب.

سنتطرق في الصفحات اللاحقة الى النوعين الأول والثاني من المجمعات الشمسية وسنتطرق أيضا الى الاستخدامات الشائعة والممكنة للطاقة الناتجة عن استعمالها، أما بالنسبة للنوع الثالث فسنتطرق له في فصل آخر يتعلق بانتاج الطاقة من النباتات.

المجمعات الشمسية الحرارية:

قلنا ان الاسم الشائع لهذه المجمعات هو المجمعات الشمسية، ومهمة هذه المجمعات على اختلاف أشكالها هي تحويل الطاقة الشمسية الى طاقة حرارية على درجات حرارة مختلفة حسب طبيعة الاستخدام المطلوب، وبشكل عام تقوم هذه المجمعات بنقل الطاقة الحرارية الناتجة الى أحد الموائع كالهواء أو الماء أو أي من السوائل الأخرى لاستخدامها من ثم في تلبية أحد المتطلبات. وقبل الدخول في التفاصيل عن الأشكال المختلفة لهذه المجمعات سنتطرق الى بعض الجوانب النظرية التي نحاول من خلالها تحديد خصائص كل شكل واستعمالاته الملائمة.

إن من الحقائق الأساسية في العالم المادي أن الطاقة لا تخلق ولا تفنى وانما يمكن تحويلها من شكل الى آخر، وهكذا فلو نظرنا الى المجمع

الشمسي باعتباره جسما يستقبل الطاقة الشمسية فانه يقوم بتحويل هذه الطاقة الى أشكال أخرى يتم الحصول على جزء منها بينما يفقد الجزء الآخر، أما الجزء الذي نحصل عليه فيتمثل في رفع درجة حرارة أحد الموائع مثلا بينما الجزء المفقود هو الذي ينتقل من المجمع مرة أخرى للأجواء المحيطة به. ولو حاولنا صياغة ما تقدم بشكل علاقة حسابية لقلنا:

الطاقة الساقطة على المجمع= الطاقة المكتسبة+الطاقة المفقودة

وبهذا نرى أن المجمع الشمسي لا يخلق الطاقة من العدم كما أنه لا يفنيها بل يقوم بتحويلها. واذا حاولنا البحث عن الطاقة الحرارية المكتسبة نجد أنها كمية الحرارة التي حصل عليها المائع الذي انتقلت له الحرارة. واذا حاولنا حسابها نجد أنها تساوي كتلة المائع مضروبة بحرارته النوعية وبارتفاع درجة حرارته. وحين نضع ما تقدم بشكل علاقة رياضية يظهر أن:

الحرارة المكتسبة = كتلة المائع×حرارته النوعية×ارتفاع درجة حرارته

وباستعمال الرموز نضع العلاقة كالتالي:ـ

ح١ = ك × ن × ت

أما الحرارةالمفقودة الى الأجواء المحيطة فانها تنتقل عبر وسائل التوصيل والحمل والاشعاع. وللسهولة فسوف نهمل تأثير الوسيلة الأخيرة ونركز على فقدان الحرارة بالتوصيل والحمل. وتعتمد كمية الحرارة المفقودة من المجمع على معامل انتقال الحرارة من سطح المجمع الى الأجواء المحيطة وعلى مساحة سطح المجمع وعلى فارق درجات الحرارة بين سطح المجمع والأجواء المحيطة. وبشكل رياضي نضع العلاقة كالتالي:

الحرارة المفقودة = مساحة سطح المجمع× معامل انتقال الحرارة× فارق درجات الحرارة بين سطح المجمع والأجواء المحيطة

وباستعمال الرموز نضع العلاقة كالتالي:ـ

$$ح٢ = س \times م \times ف$$

لكن كما ذكرنا فان مجموع الحرارة المكتسبة والحرارة المفقودة تساوي كمية الطاقة الساقطة على سطح المجمع التي تساوي بدورها كمية الاشعاع الشمسي على وحدة المساحة مضروبا بمساحة سطح المجمع، أي:

الطاقة الساقطة على المجمع = الاشعاع الشمسي على وحدة المساحة × مساحة سطح المجمع

$$ح٣ = ش \times س$$

لنضع ميزان الطاقة للمجمع الشمسي بشكل رياضي:

$$ح٣ = ح١ + ح٢$$

واذا قسمنا طرفي العلاقة على ح٣ ينتج:

$$١ = \frac{ح١}{ح٣} + \frac{ح٢}{ح٣}$$

لنلاحظ أن $\frac{ح١}{ح٣}$ هو نسبة الطاقة المكتسبة الى الطاقة الساقطة على سطح المجمع، أي أنها تمثل كفاءة المجمع، أما $\frac{ح٢}{ح٣}$ فانها تمثل العلاقة بين الطاقة المفقودة والطاقة الساقطة على المجمع، ويمكننا أن نختصر $\frac{ح٢}{ح٣}$ الى صيغة أكثر قبولا حين نضع:

$$\frac{ح٢}{ح٣} = \frac{س \times م \times ف}{ش \times س}$$

وبصيغة أخرى:

$$\frac{ح_2}{ح_3} = م \times \frac{ف}{ش}$$

إذا اعتبرنا أن معامل انتقال الحرارة من سطح المجمع الى الأجواء المحيطة ذو قيمة ثابتة نرى أن $\frac{ح_2}{ح_3}$ تتناسب طرديا مع فارق درجات الحرارة بين درجة حرارة سطح المجمع والأجواء المحيطة وعكسيا مع شدة الاشعاع الشمسي، وإذا أعدنا كتابة ميزان الطاقة للمجمع الشمسي نرى:

$$١ = \text{كفاءة المجمع} + م \times \frac{ف}{ش}$$

أو

$$\text{كفاءة المجمع} = ١ - م \frac{ف}{ش}$$

لكن نتيجة لعوامل امتصاص وانعكاس الاشعاع الشمسي عن زجاج المجمع وعن الصفيحة الماصة داخل المجمع فان كفاءة المجمع تأخذ شكل العلاقة التالية:

$$\text{كفاءة المجمع} = ٠٫٨ - م \frac{ف}{ش}$$

أما الشكل البياني لهذه المعادلة فيظهر كخط مستقيم تقل قيمته كلما ازدادت قيمة المعامل $(م \times \frac{ف}{ش})$.

ملاحظات حول نظرية المجمعات الشمسية الحرارية:

إن رفع كفاءة استخدام الطاقة الشمسية في التطبيقات المختلفة تتطلب توفير المجمعات ذات الكفاءة العالية والتي تكون ذات جدوى اقتصادية في نفس الوقت، ولأجل رفع كفاءة المجمع الشمسي فان الأمر يتطلب زيادة كمية الطاقة المكتسبة وتقليل كمية الطاقة المفقودة، والواقع أن معظم

الأبحاث التي تجري على الجمعات الشمسية تتركز حول هاتين النقطتين: زيادة الطاقة المكتسبة وتقليل الطاقة المفقودة، مع الأخذ بعين الاعتبار ضرورة أن تكون أسعار الجمعات مقبولة اقتصاديا، وحتى تزداد كمية الطاقة المكتسبة يجب مراعاة الجوانب التالية:ـــ

١ ــ تقليل العوائق التي تحد من وصول الاشعاع الشمسي الى تلك الأجزاء من الجمع التي تقوم بامتصاص الأشعة الشمسية، وذلك باستعمال المواد التي تسمح لأشعة الشمس بالوصول الى الأسطح الماصة بكفاءة عالية.

٢ ــ زيادة كفاءة الأسطح الماصة للاشعاع الشمسي، وذلك باستعمال بعض الطلاءات التي تزيد من امتصاص أشعة الشمس وتقلل من الاشعاع الحراري لهذه الأسطح.

٣ ــ رفع كفاءة نقل الطاقة الشمسية الممتصة على السطح الماص الى المائع (غاز أو سائل) الذي يمر في الجمع الشمسي، ويحدث هذا في العادة بواسطة استعمال المعادن جيدة التوصيل للحرارة.

وحتى تقل كمية الطاقة المفقودة فان الجهود تتركز على النواحي التالية:

١ ــ تقليل الحرارة المفقودة بواسطة وسائل الحمل والتوصيل والاشعاع، ويتم هذا في العادة عن طريق تقليل معامل انتقال الحرارة من السطح الماص الى الأجواء المحيطة بواسطة استعمال أكثر من غطاء زجاجي فوق السطح الماص أو تفريغ الجمعات الشمسية من الهواء لمنع انتقال الحرارة، فالمعلوم أن الحرارة لا تنتقل في الفراغ بل تحتاج الى وسط مادي تنتقل خلاله بعكس الضوء الذي ينتقل في الفراغ،

ولولا هذه الخصائص لما وصلنا نور الشمس.

٢ ـ تقليل مساحة السطح الماص لتقليل كمية الحرارة المفقودة ويتم هذا من خلال تجميع أشعة الشمس وتركيزها من ثم على سطح ماص ذي مساحة قليلة، ويستعمل هذا الاسلوب في المجمعات المعروفة باسم المجمعات الشمسية المركزة.

أنواع المجمعات الشمسية الحرارية

هناك ثلاثة أنواع رئيسية من المجمّعات الشمسية الحرارية هي المجمعات المسطحة والمجمعات المركزة والمجمعات المفرغة، ويحتوي كل نوع على أشكال مختلفة، ولكل شكل خصائص مميزة تجعله ملائما لبعض الاستخدامات، وسنتناول أنواع المجمعات هذه بالتفصيل:

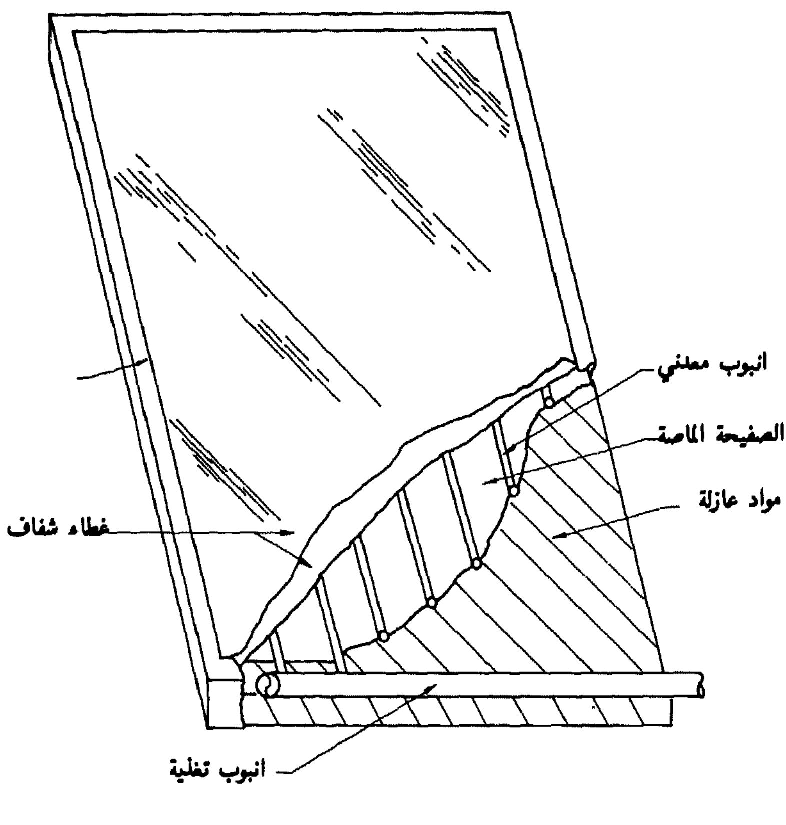
أ ـ المجمعات الشمسية المسطحة :

تعتبر المجمعات الشمسية المسطحة أكثر أنواع المجمعات شيوعا وذلك لسهولة تصنيعها وانخفاض سعرها بالمقارنة مع المجمعات الأخرى وبسبب تعدد استعمالاتها، ويشيع استعمال هذا النوع من المجمعات في تلك التطبيقات التي تتطلب الحصول على الطاقة الحرارية على درجات الحرارة المنخفضة نسبيا، أي درجات الحرارة التي لا تتعدى ٩٠ـ١٠٠ درجة مئوية، والجدير بالذكر أن استعمالات الطاقة الحرارية على مثل هذه الدرجات المنخفضة كثيرة وشائعة الاستعمال وتلبي جزءا كبيرا من متطلبات البشر، وللدلالة على حجم مثل هذه الاستعمالات نشير الى الاحصاءات الخاصة بالاستخدام النهائي للطاقة في معظم الدول الصناعية حيث تدل هذه الاحصاءات على أن نسبة عالية من الاستهلاك العام للطاقة هو في الواقع طاقة حرارية على درجات حرارة لا تتعدى ١٠٠ درجة مئوية، فتسخين المياه للاستعمال المنزلي لا يتطلب رفع درجة حرارتها الى أكثر من ٥٠ـ٦٠ درجة مئوية، أما تدفئة البيوت فانه يعني الاحتفاظ بدرجة

حرارة الأجواء الداخلية على ٢٠-٢٢ درجة مئوية ليس أكثر. وينطبق ذات الأمر على الحاجة الى المياه الساخنة في العديد من العمليات الصناعية حيث لا يتطلب الأمر سوى الحاجة الى مياه ساخنة على درجة حرارة أقل من درجة الغليان، وفي الدول ذات الأجواء الباردة فان تدفئة المنازل والبنايات وتسخين المياه للأغراض المنزلية والصناعية يشكل جزءا مهما من مجمل احتياجاتها من الطاقة.

وحتى بالنسبة للبلدان ذات الأجواء الحارة التي يحتاج توفير الأجواء الملائمة داخل البنايات فيها الى استعمال معدات التبريد فان بالامكان توفير هذه الحاجة باستعمال معدات التبريد الشمسي التي لا تحتاج بدورها الى مياه ساخنة على درجات حرارة ما بين ٧٥-٩٥ درجة مئوية كي تؤدي المهمة المطلوبة، والجدير بالذكر أن البلدان الحارة التي يشيع فيها استعمال معدات التبريد تستهلك جزءا كبيرا من الطاقة الكهربائية فيها لتشغيل هذه المعدات كما في الكويت والامارات العربية المتحدة والسعودية وليبيا وغيرها، وهكذا يتضح الحجم الكبير للتطبيقات التي يمكن القيام بها بواسطة استعمال المجمعات الشمسية المسطحة.

المجمّع الشمسي المسطح غاية في البساطة والسهولة التكنولوجية اذ أن العمود الفقري لهذا المجمع هو الصفيحة الماصة التي تقوم بامتصاص الأشعة الشمسية وتحويلها الى حرارة ونقلها من ثم الى أحد الموائع، أما الأجزاء الأخرى لهذا المجمع فهي ليست سوى عوامل مساعدة لحفظ الصفيحة الماصة وضمان فعاليتها، يتكون المجمع الشمسي المسطح من صندوق خشبي أو معدني وله غطاء شفاف ويحوي في داخله الصفيحة الماصة وبعض المواد العازلة التي تعزل الصفيحة عن أجزاء الصندوق الأخرى، ويقوم الصندوق الخشبي أو المعدني بوظيفة حماية الصفيحة الماصة من التقلبات الجوية وتقليل آثار انتقال الحرارة كما أنه يشكل اطارا ملائما في التطبيقات العملية من حيث متطلبات الانشاءات والتركيبات، وتظهر الأجزاء الأساسية للمجمع المسطح في **الشكل رقم (٦)** وهي :—



شكل ٦ ــ مجمع شمسي مسطح

١ ـ الغطاء الشفاف :ـ

هنالك العديد من الأغطية الشفافة المستعملة في المجمعات الشمسية، غير أن الزجاج هو أكثرها شيوعا، ويسمح الزجاج ـ نظرا لشفافيته ـ للجزء الأكبر من أشعة الشمس بالنفاذ الى داخل الصندوق والوصول الى الصفيحة الماصة، وحين نقول إنه يسمح للجزء الأكبر من الأشعة الشمسية بالنفاذ فاننا نأخذ بعين الاعتبار حقيقة أن الزجاج يقوم بامتصاص جزء من أشعة الشمس الساقطة ويعكس جزءا آخر بينما يسمح للجزء الباقي بالنفاذ والوصول الى الصفيحة الماصة، وبالنسبة لأغطية الزجاج المستعملة في المجمعات الشمسية المسطحة فانها تسمح لحوالي ٨٠ـ٩٠٪ من أشعة الشمس بالنفاذ الى داخل المجمع، بينما تقوم بامتصاص الجزء الآخر وعكسه.

قد يتبادر الى ذهن القارىء سؤال عن الحاجة الى غطاء الزجاج اذا كان يشكل عائقا أمام وصول كل الأشعة الشمسية الى السطح الماص، والواقع أن الغطاء الزجاجي يلعب دورا مهما في حياة المجمع الشمسي فهو يحفظ السطح الماص من آثار الظواهر الطبيعية كالمطر والثلج والغبار والأتربة، وكذلك فان الغطاء الزجاجي يشكل عائقا أمام انتقال الحرارة من الصفيحة الماصة الى الأجواء المحيطة، الأمر الذي يؤدي الى زيادة فعالية المجمع، وبالاضافة الى ما تقدم فان من خصائص الزجاج أنه يسمح للأشعة ذات الموجات القصيرة بالنفاذ من خلاله بينما يعترض طريق الأشعة ذات الموجات الطويلة ولا يسمح لها بالنفاذ، وتعرف هذه الخاصية باسم خاصية البيت الزجاجي أو البيت الأخضر (Green House Effect)، وهي الفكرة التي تقوم الزراعة المحمية في الأجواء الباردة على أساسها، حيث إن الجدران الزجاجية للمستنبتات تسمح لأشعة الشمس بالنفاذ الى الداخل ولكنها تعترض طريق الاشعاعات الحرارية ذات الموجات الطويلة

التي تحاول الخروج مما يؤدي الى الاحتفاظ بالحرارة داخل المستنبت، وينطبق الأمر ذاته على المجمعات الشمسية حيث يقوم الزجاج باعتراض طريق الموجات الحرارية الطويلة الصادرة من الصفيحة الماصة، ويحتفظ بها داخل المجمع لاعادة امتصاصها من قبل الصفيحة نفسها، هذا بالاضافة بالطبع الى أن الزجاج يقلل من آثار انتقال الحرارة بوسائل الحمل والتوصيل.

إن استعمال الغطاء الزجاجي في المجمعات الشمسية ليس أمرا مطلقا بل يعتمد على طبيعة التطبيقات المطلوب من المجمع القيام بها ويعتمد كذلك على الكلفة الاقتصادية وعلى الظروف المناخية السائدة، فمثلا هناك بعض المجمعات الشمسية المسطحة التي تستخدم لتسخين مياه حمامات السباحة والتي تقوم برفع درجة حرارة الحمامات بشكل تدريجي بحيث إن فارق درجة حرارة الماء ما بين دخوله وخروجه من المجمع لا تتعدى درجة أو درجتين مئويتين، ففي هذه الحالة لا يحتاج الأمر الى استعمال الأغطية الزجاجية،ذلك أن فقدان الحرارة من المجمع ليس بذي أثر كبير ولا يوجد تبعا لذلك تبريرات اقتصادية لاستعمال الأغطية الزجاجية، ولكن في ظل ظروف أخرى، يجب استعمال غطاءين زجاجيين أو أكثر وذلك لتقليل كمية التسرب الحراري من الصفيحة الماصة الى الأجواء المحيطة، ويشيع تعدد الأغطية الزجاجية في تلك الظروف التي يوجد فيها فروق كبيرة في درجات الحرارة بين الصفيحة الماصة والأجواء المحيطة.

وتختلف خصائص الأغطية الزجاجية للمجمعات الشمسية بعض الشيء عن زجاج النوافذ، ففي أغطية المجمعات الشمسية يتم التخلص من معظم الشوائب لزيادة شفافية الزجاج وبالتالي زيادة كمية الأشعة النافذة الى داخل المجمع وتقليل كمية الجزء الممتص أو المنعكس، واضافة الى ما تقدم فانه يتم التخلص من الشوائب الحديدية في الزجاج وذلك من أجل زيادة مقاومة الزجاج للاجهادات الحرارية، وفي العادة تكون أغطية المجمعات

الشمسية أكثر متانة من الزجاج العادي وذلك لمقاومة الصدمات والظواهر الطبيعية.

٢ ــ الصفيحة الماصة:ــ

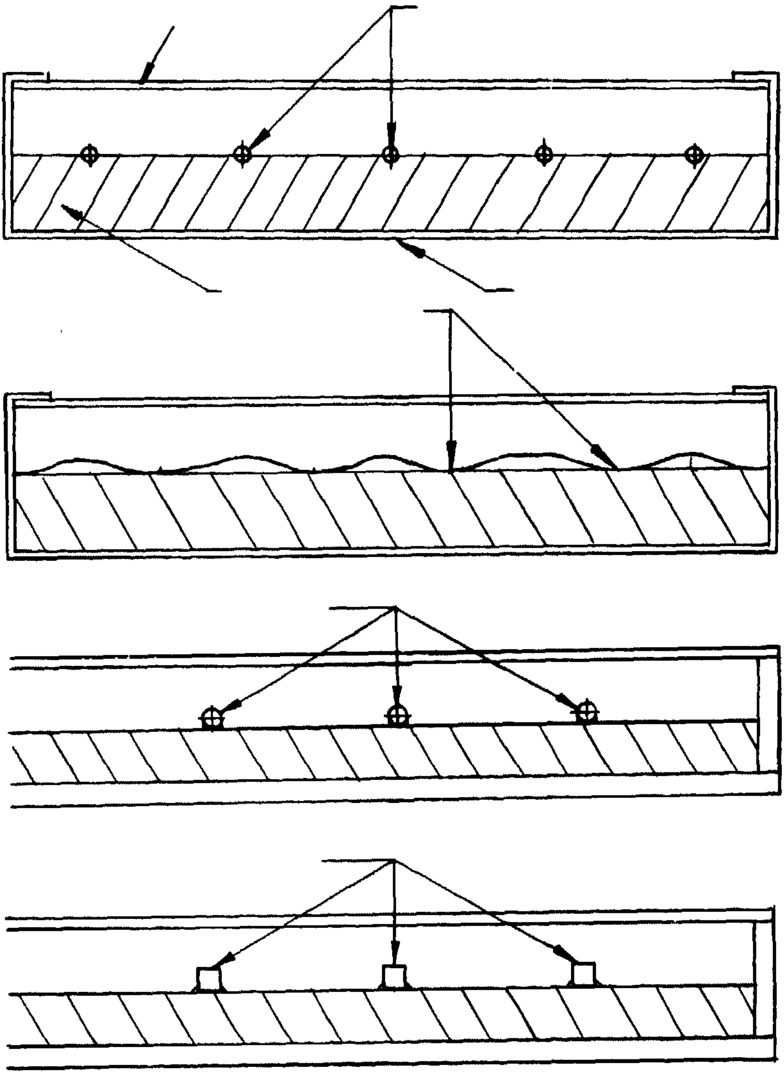
الصفيحة الماصة هي العمود الفقري للمجمع الشمسي ذلك أنها تقوم بامتصاص أشعة الشمس حيث ينتج عن ذلك المفعول الحراري المتمثل بارتفاع درجة حرارة الصفيحة، ومن ثم تنتقل الحرارة عبر الصفيحة الى أحد الموائع الذي يسخن بدوره وترتفع درجة حرارته.

الصفيحة الماصة هي صفيحة معدنية في العادة وتصنع من النحاس أو الالمنيوم أو الحديد حسب ما تقتضيه الاعتبارات العلمية والعملية والاقتصادية، وقد جرت محاولات لصناعة هذه الصفائح من المواد البلاستيكية في محاولة لتقليل الكلفة الاقتصادية غير أنها لم تلاق نجاحا كبيرا، و يعتبر النحاس أفضل المواد السابقة من وجهة نظر انتقال الحرارة ذلك أن معامل انتقال الحرارة في النحاس أكبر منه في المواد الأخرى، أما الالمنيوم فانه أخف المواد الثلاثة وزنا و ينقل حوالي ٥٥٪ مما ينقله النحاس من حرارة. أما الحديد فانه أكثرها متانة ولا ينقل الاّ ما يعادل ١٥٪ مما ينقله النحاس من حرارة، الاّ أن انتقال الحرارة ليس هو العامل الوحيد الذي يحكم طبيعة المواد المستعملة في صناعة الصفائح الماصة رغم الأهمية الكبيرة لهذا العامل، فهناك مثلا الكلفة الاقتصادية لصناعة الصفائح من المواد المختلفة وهو الأمر الذي يؤثر على الجدوى الاقتصادية لصناعة المجمعات الشمسية، واذا أخذنا هذا الجانب بعين الاعتبار نجد أن النحاس أغلى المواد الثلاثة ثمنا، اضافة الى أن أسعاره تتغير باستمرار صعودا وهبوطا، ومن جانب آخر فان الصفائح المصنوعة من النحاس والحديد تحتاج الى عمليات اللحام الشائعة بينما تحتاج الصفائح المصنوعة من الالمنيوم الى عمليات ميكانيكية خاصة، واضافة الى ما تقدم هناك أيضا خصائص المواد المختلفة في مقاومة آثار الظواهر الطبيعية كالحرارة العالية والرطوبة وتأثير هذه

الظواهر على فعالية الصفائح على المدى الطويل، وعند تقرير أي المواد يحسن استعمالها في صناعة الصفائح فان كل العوامل السابقة تؤخذ بعين الاعتبار.

ومن أجل أن تقوم الصفيحة الماصة بنقل الحرارة المكتسبة من الاشعاع الشمسي الى أحد الموائع لابد أن تصمم بطريقة تسمح للمائع المذكور باكتساب الحرارة من الصفيحة، وهناك العديد من التصاميم الشائعة والمستعملة في المجمعات الشمسية المسطحة والتي تهدف جميعا الى تسهيل انتقال الحرارة من الصفيحة الى المائع كما يظهر في **الشكل رقم (٧)**، ففي بعض هذه التصاميم تتكون الصفيحة الماصة من طبقتين معدنيتين رقيقتين تحصران بينهما مجاري يمر خلالها السائل المراد تسخينه وفي تصاميم أخرى تحصر الطبقتان بينهما مجرى واحدا عريضا كما في المجمعات الشمسية المستخدمة في تسخين الهواء، وفي تصاميم أخرى يتم لحام بعض الأنابيب الاسطوانية أو المربعة المقطع بسطح الصفيحة الماصة وذلك لنقل الحرارة من الصفيحة الى الانبوب فالسائل الذي يمر في الانبوب، وحين اللجوء الى استخدام الأنابيب فيجب العمل على ضمان أن يلتصق سطح الأنبوب بسطح الصفيحة بحيث لا تتشكل فراغات بينهما تعيق انتقال الحرارة.

تتطلب صناعة الصفائح الماصة الملائمة لتطبيقات الطاقة الشمسية تحسين خصائص أسطحها الضوئية فيما يتعلق بامتصاص الضوء وابتعاثه، فالمعلوم أن الأجسام المادية تمتص الضوء وتبعثه، فهي مثلا تمتص الموجات الضوئية القصيرة وتنبعث منها الموجات الطويلة الحرارية الطابع، وللأجسام المادية خاصية أخرى وهي أن معاملي الامتصاص والابتعاث يتساويان عند طول موجة معينة بينما يختلف هذان العاملان عند الموجات ذات الأطوال الأخرى، وبالنسبة للأسطح المطلية بالطلاء الأسود فان معاملي الامتصاص والابتعاث يتساويان في جميع موجات الطيف الشمسي (طول الموجة ٣ر٠ ميكرون أو أكثر).



شكل ٧ــ قطاع عرضي للصفائح الماصة في المجمعات المسطحة

ولأجل تحسين خصائص الصفائح الماصة فان الأمر يتطلب تعديل خصائص أسطحها بحيث تزداد قدراتها على امتصاص أشعة الشمس وتقلل امكانات الابتعاث منها ، فالصفائح حين تمتص أشعة الشمس ترتفع درجة حرارتها وتأخذ ببعث الأشعة تحت الحمراء التي تبعثها الأجسام الحارة، وعلى ذلك فان تحسين خصائص أسطح الصفائح الماصة يقتضي زيادة كفاءة امتصاصها للأشعة ذات الموجات القصيرة (الأشعة الشمسية) وتقليل كفاءة ابتعاث الاشعة الطويلة (اشعاعات الأجسام الحارة). وبهذا تقوم الصفائح بامتصاص الأشعة الشمسية وتحويلها الى حرارة دون أن تفقد الكثير بالمقابل مما يؤدي الى رفع درجة حرارتها وبالتالي توفر مخزونا حراريا ينتقل الى الموائع التي تلامس سطح الصفيحة، ومن أجل تحقيق هذا الهدف يتم طلاء أسطح الصفائح الماصة بطلاءات خاصة تمتلك خصائص تحسين الامتصاص وتقليل الابتعاث، وتعرف الأسطح التي تمتلك مثل هذه الخصائص بالأسطح الانتقائية Selective Surfaces . ومن المواد الشائعة الاستعمال في هذا المجال كطلاءات للصفائح الماصة الكروم الأسود والنيكل الأسود وأوكسيد النحاس وأوكسيد الحديد. وبالنسبة للطلاءين الأول والثاني يزيد معامل الامتصاص عن ٩ر٠ بينما يتراوح معامل الابتعاث بين ١ر٠ ــ ١٥ر٠.

٣ ــ المواد العازلة :ــ

إن الهدف من استعمال المواد العازلة هو العزل بين الصفيحة الماصة والصندوق الحاوي وتقليل انتقال الحرارة من الأول الى الثاني، فبسبب امتصاص الصفيحة لأشعة الشمس ترتفع درجة حرارتها الى أعلى من درجة حرارة الصندوق الذي يحويها، وتتشكل بالتالي الظروف المواتية لانتقال الحرارة من الصفيحة الى الصندوق ومن ثم الى الخارج، واذا لم يتم التغلب على هذه الظاهرة وتقليل آثارها فإن قسما كبيرا من الحرارة التي تكتسبها الصفيحة الماصة تنتقل الى الخارج الأمر الذي يؤدي الى تقليل كفاءة

المجمع الشمسي، وفي التصاميم الشائعة للمجمعات الشمسية المسطحة يتم عزل كل أسطح الصندوق الداخلية وذلك لتقليل انتقال الحرارة اليها من الصفيحة الماصة الى الحدود الدنيا، ويتم هذا بالطبع ضمن المعطيات الاقتصادية المقبولة بحيث لا يزداد سمك المواد العازلة الى الدرجة التي تجعل كلفتها عالية، وفي معظم المجمعات الشمسية التجارية يتراوح سمك المواد العازلة ما بين ١٥ ـ ٢٥ ملـم.

ولعل أهم أنواع المواد العازلة المستعملة في المجمعات الشمسية المسطحة هي الألياف الزجاجية والألياف المعدنية والصوف الصخري والعوازل الرغوية، وتختلف الخصائص الحرارية والتركيبية والكلفة الاقتصادية لهذه العوازل المختلفة مما يمنح كلا منها بعض المميزات في تطبيقات معينة، فبعضها يمتلك خاصية انخفاض معامل انتقال الحرارة داخله، والبعض الآخر لا تتأثر خصائصه الحرارية بالرطوبة أو الحرارة العالية بينما يكون سعر البعض الآخر منخفضا، وبشكل عام يشيع استعمال الألياف الزجاجية والعوازل الرغوية في العديد من المجمعات الشمسية المسطحة المتوفرة بشكل تجاري.

هذه هي الأجزاء الرئيسية للمجمع الشمسي المسطح وهي كما نرى بسيطة وغير معقدة، وامكان تصنيعها محليا متوفرة في معظم دول العالم بغض النظر عن المستويات التكنولوجية السائدة فيها، والواقع أن تصنيع المجمعات الشمسية واستخدامها في تسخين الماء أخذ ينتشر في بعض الدول العربية كالأردن ولبنان وسوريا ومصر وفلسطين، وفي هذه الدول تقوم الورش الميكانيكية الصغيرة بتصنيع أجهزة تسخين المياه بالطاقة الشمسية اعتمادا على ما يتوفر في أسواقها من مواد ملائمة، ورغم أن المجمعات الشمسية التي تصنعها الورش الصغيرة يشوبها بعض النواقص التكنولوجية الآ أنها مع ذلك أثبتت نجاحها في تسخين المياه بالطاقة الشمسية.

وقبل أن ننتقل الى الحديث عن نوع آخر من المجمعات الشمسية تجدر

بنا الاشارة الى أن المجمعات الشمسية المسطحة تقوم بامتصاص كل الأشعة التي تسقط على الصفيحة الماصة مادامت أطوال الموجات تقع في المجال الذي يمكن للسطح الانتقائي امتصاص موجاته، ولا يؤثر في هذا المجال ما اذا كان الاشعاع الساقط على سطح المجمع اشعاعا مباشرا أو اشعاعا منتشرا فالصفيحة الماصة تعمل على الاستفادة من كل الأشعة التي تصلها، وتعتبر هذه الخاصة من الجوانب الايجابية للمجمعات المسطحة مقارنة بأنواع المجمعات الأخرى التي سيرد ذكرها، ومن جانب آخر فان هناك بعض النواقص أو السلبيات في المجمعات الشمسية المسطحة والمتمثلة في أن كفاءة المجمع المسطح تتأثر كثيرا مع ارتفاع درجة حرارة السائل المراد تسخينه، فقد رأينا أثناء مناقشتنا للجوانب النظرية للمجمعات الشمسية أن مقدار الحرارة المفقودة من المجمع تتناسب طرديا مع فرق درجات الحرارة بين الصفيحة الماصة والجو المحيط بالمجمع، وعلى ذلك فكلما ارتفعت درجة حرارة الصفيحة ازداد فقدان الحرارة وانخفضت كفاءة المجمع، ومن جانب آخر فان المساحة الكبيرة لسطح الصفيحة الماصة تؤدي أيضا الى زيادة فقدان الحرارة ذلك أن هذا يتناسب طرديا أيضا مع مساحة السطح، وعلى ذلك فان المجمعات المسطحة تصلح للتطبيقات التي تعمل على درجات الحرارة المنخفضة نسبيا، أي تلك التي نحتاج فيها إلى درجات حرارة أقل من ١٠٠ درجة مئوية، وهي تطبيقات عديدة ومهمة.

وفي التطبيقات التي تتطلب درجات حرارة أعلى من درجة الغليان أو تتطلب انتاج بخار على ضغوط منخفضة فان المجمعات المسطحة تفقد الكثير من خصائصها ويتطلب الأمر استخدام مجمعات أخرى أكثر ملاءمة لهذا النوع من التطبيقات كالمجمعات الشمسية المركزة.

ب ــ المجمعات الشمسية المركزة: Solar Concentrating Collectors

تستعمل المجمعات الشمسية المركزة في التطبيقات التي تتطلب درجات حرارة أعلى من درجة الغليان رغم أنه من الواضح أنه يمكن استعمالها في

التطبيقات ذات درجات الحرارة المنخفضة أيضا. ولأجل تحقيق درجات الحرارة العالية المطلوبة فان الأمر يقتضي تركيز كمية كبيرة من أشعة الشمس على مساحة صغيرة، ومن هنا تأتي الصفة التي تطلق على هذا النوع من المجمعات بأنها مجمعات مركزة، ولا تقتصر الجوانب الايجابية لهذه المجمعات على تركيز أشعة الشمس على مساحة صغيرة بل إن صغر مساحة السطح المستقبل للاشعاع تعني صغر المساحة الفاقدة للحرارة، وبالتالي فان المجمعات المركزة تحقق هدفي تركيز الاشعاع الشمسي بحيث يمكن رفع درجة حرارة السوائل المراد تسخينها كثيرا وتقليل مساحة السطح الفاقد للحرارة، ولكن من الجانب الآخر تعني درجة الحرارة المرتفعة للسطح المستقبل للاشعاع الشمسي ازدياد الفارق في درجات الحرارة بين السطح والأجواء المحيطة وهو الأمر الذي يزيد من انتقال الحرارة، ومن هذا فان التجارب التي أجريت على المجمعات المركزة أثبتت أنه بالامكان رفع درجة حرارة السوائل بواسطتها الى ٥٠٠ درجة مئوية أو أكثر وعلى مثل هذه الدرجات العالية فان بالامكان انتاج البخار على ضغوط مرتفعة نسبيا واستخدامها في العمليات الصناعية المختلفة، كما يمكن تبخير الغازات العضوية أو الماء واستخدامها في تشغيل التوربينات لانتاج الطاقة الكهربائية.

من الخصائص المميزة للمجمعات المركزة أنها لا تستفيد الا من الاشعاع الشمسي المباشر فقط، وأما الاشعاع المنتشر فهو ليس ذا فائدة في حالة هذه المجمعات، بعكس المجمعات الشمسية المسطحة التي تستفيد من كلا الاشعاعين، وتبعا لذلك فان زيادة كفاءة هذه المجمعات يتطلب أن يتوفر فيها من الوسائل ما يكفل أن تتحرك أجزاؤها العاكسة للاشعاع الشمسي بحيث تتبع حركة الشمس وتستقبل أكبر كمية من الاشعاع المباشر، والحاجة الى هذه الوسائل يزيد من التعقيدات التكنولوجية المتعلقة بهذه المجمعات غير أنه لا غنى عنها لأجل زيادة كفاءتها، وبالنتيجة فان المعطيات السابقة تقتضي أن توضع المجمعات المركزة في الاستعمالات

الملائمة التي تبرر التعقيدات التكنولوجية والمشاكل العملية والكلفة الاقتصادية لهذه المجمعات.

إن الأجزاء الأساسية في المجمعات الشمسية المركزة هي : —

١ — السطح العاكس للاشعاع الشمسي، وهو الذي يقوم بعكس أشعة الشمس المباشرة الساقطة عليه وتركيزها في نقطة بؤرية أو على طول خط بؤري.

٢ — السطح الماص للاشعاع المنعكس، وهو الذي يقوم باستقبال الاشعاع الشمسي المنعكس وامتصاص التأثير الحراري ومن ثم نقله الى السائل المراد تسخينه، وفي العادة يتخذ السطح الماص شكلا كرويا ويقع في المركز البؤري للسطح العاكس أو قد يتخذ شكل انبوب يمر فيه السائل المراد تسخينه ويقع على طول الخط البؤري للسطح العاكس.

٣ — جهاز التحكم في حركة السطح العاكس بحيث يتبع حركة الشمس لزيادة كمية الاشعاع المباشر الساقط على السطح العاكس.

تكون الأسطح العاكسة في معظم المجمعات المركزة من النوع المقعر (رغم أن بعضها يكون مسطحا) وتتخذ شكل القطع المكافىء Parabola ، كأن تكون جزءا من اسطوانة أو جزءا من كرة، وفي بعض أشكال المجمعات المركزة تتكون الأسطح العاكسة من مرايا مسطحة ترتب بطريقة معينة بحيث تعكس أشعة الشمس على السطح الماص المستقبل للأشعة المنعكسة.

وتتطلب صناعة المجمعات الشمسية المركزة استعمال المواد الملائمة لعكس الأشعة الشمسية على السطح العاكس وامتصاصها على السطح الماص. وعلى ذلك تصنع الأسطح العاكسة من مواد تتمتع بخصائص عكس معظم الاشعاع الشمسي الساقط وتقليل كمية الاشعاع الممتص، هذا بالاضافة الى

ضرورة أن تتوفر الخصائص الهندسية الملائمة في السطح العاكس التي تمكن من تركيز الأشعة المنعكسة على نقطة بؤرية أو على طول خط بؤري حسب التصميم الملائم. ومن جانب آخر فمن الضروري أن يتمتع السطح الماص بخصائص ملائمة لامتصاص الأشعة المنعكسة، بمعنى أن يتمتع بخصائص الأسطح الانتقائية كما ورد سابقا.

وتتخذ المجمعات الشمسية المركزة أشكالا عديدة تشترك جميعها في الخصائص الأساسية لهذا النوع من المجمعات لكنها تختلف من حيث الشكل الهندسي، وينجم عن هذا الاختلاف أن درجة الحرارة القصوى التي يمكن الحصول عليها تختلف من مجمع الى آخر، وأما أكثر أشكال المجمعات المركزة شيوعا فهي:—

١—المجمع الشمسي المركز المركب: Compound Parabolic Concentrator

يتكون السطح العاكس للمجمع الشمسي المركز المركب من قطاعين متماثلين يتخذ كل منهما شكل القطع المكافيء، ويعكس هذان السطحان الأشعة الساقطة عليهما على طول خط بؤري يمر فيه انبوب يحمل السائل المراد تسخينه، ومن الخصائص الهندسية لهذا المجمع زاوية تعرف باسم زاوية القبول Acceptance Angle وهي الزاوية المحصورة بين خطين يصل كل منهما بين الطرف العلوي للمجمع ونقطة تماس على سطح الانبوب المار في الخط البؤري كما يبدو في **الشكل رقم** (٨)، وتنبع أهمية هذه الزاوية من أن الاشعاع الشمسي الساقط خلالها ينعكس على الانبوب الماص ولا ينتشر خارج المجمع، وحين تكون زاوية القبول كبيرة نسبيا فانها تغني عن استعمال أجهزة التحكم في حركة السطح العاكس لتتبع حركة الشمس خاصة اذا ما تم تركيب المجمع على زاوية ميل ملائمة بحيث يكون المستوى المار في المجمع باتجاه شرق—غرب.

من المؤشرات المهمة في المجمعات الشمسية المركزة ما يعرف بنسبة

التركيز وهي النسبة بين مساحة مقطع السطح العاكس الذي تسقط عليه أشعة الشمس الى مساحة مقطع الانبوب أو الجسم الذي يسقط عليه الاشعاع المنعكس، وكلما ارتفعت هذه النسبة كلما أصبح بالامكان رفع درجة حرارة السائل الى درجات أعلى ذلك أنه يتم تركيز كمية أكبر من الاشعاع على مساحة صغيرة، وبالنسبة للمجمع المركز المركب فان نسبة التركيز هي نسبة مساحة فتحة السطح العاكس الذي تدخل أشعة الشمس من خلاله الى مساحة المقطع الطولي للانبوب الذي يمر السائل خلاله. وتساوي هذه النسبة طول المسافة بين الطرفين العلويين للسطح العاكس مقسوما على قطر الانبوب.

في بعض تصاميم المجمعات المركزة المركبة يستبدل بالانبوب المعدني الحامل للسائل أنبوب زجاجي مفرغ من الهواء يمر فيه انبوب معدني يحمل السائل المراد تسخينه، والهدف من استعمال الأنابيب الزجاجية المفرغة هو تقليل انتقال الحرارة بالحمل والتوصيل الى أقل درجة ممكنة ذلك أن انتقال الحرارة بالحمل والتوصيل يحتاج الى وسط مادي، وسنأتي على المزيد من التفاصيل حين نتحدث عن المجمعات الشمسية المفرغة.

٢ ــ مجمّع الطبق المركز:

يكون السطح العاكس لمجمع الطبق المركز مقعرا وهو أشبه ما يكون بالمرآة المقعرة ويتخذ قطاعه العرضي شكل الدائرة كما في الشكل رقم (٨)، يقوم السطح العاكس بتركيز أشعة الشمس على نقطة بؤرية يثبت فيها جسم كروي يقوم بامتصاص الاشعاع المنعكس ويمر خلاله أنبوب يحمل سائلا، ونظرا لصغر مساحة مقطع الجسم الكروي بالمقارنة مع مساحة مقطع السطح العاكس الذي تسقط عليه أشعة الشمس فان نسبة التركيز في هذا النوع من المجمعات تكون عالية جدا وقد تصل الى ١٠٠٠م ونتيجة لشدة التركيز هذه فانه بالامكان رفع درجة حرارة السائل الى درجات

حرارة مرتفعة تصل الى حوالي ١٠٠٠ درجة مئوية، ونظرا لارتفاع درجة الحرارة فان هذا النوع من المجمعات يصلح لانتاج البخار للعمليات الصناعية ولتوليد الطاقة الكهربائية.

يحتوي مجمع الطبق المركز على جهاز تحكم يقوم بتحريك السطح العاكس بحيث يتبع حركة الشمس لاستقبال أكبر كمية ممكنة من الاشعاع المباشر، ويحتاج هذا النوع من المجمعات الى جهازي تحكم يقوم أحدهما بتتبع حركة الشمس اليومية بينما يقوم الجهاز الآخر بتتبع التغير الفصلي في موقع الشمس بالنسبة للأرض.

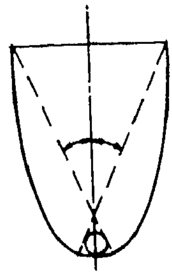
٣ ـ مجمع المجرى المركز:

يتكون مجمع المجرى المركز من سطح عاكس متحرك وانبوب ثابت يمر على طول الخط البؤري كما في **الشكل رقم (٨)**. يكون السطح العاكس مقعرا ويتخذ شكل جزء من أسطوانة، وكما في الأشكال السابقة من المجمعات المركزة يقوم السطح العاكس بتركيز الأشعة الساقطة على الانبوب الحامل للسائل، ويتحرك هذا السطح بحيث يتبع حركة الشمس اليومية فقط دون أخذ تغير موقع الشمس الفصلي بعين الاعتبار.

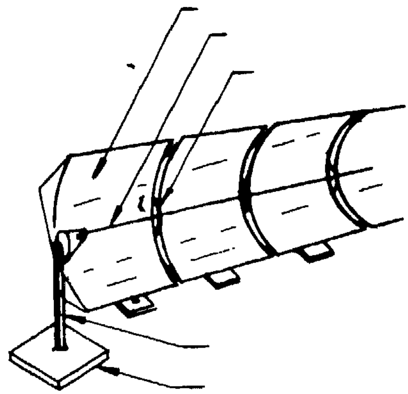
تتراوح نسبة التركيز في هذا النوع من المجمعات ما بين ٢٠ ـ ٦٠ وهو لذلك يصلح للتطبيقات التي تتطلب درجات حرارة في المدى المتوسط (١٥٠ ـ ٣٠٠ درجة مئوية).

هناك أشكال أخرى من المجمعات المركزة كتلك التي تستعمل مجموعة من المرايا المسطحة التي تقوم جميعها بعكس أشعة الشمس على نقطة بؤرية أو التي تتخذ شكل نصف كرة أو نصف اسطوانة. وتختلف نسبة التركيز من مجمع الى آخر وتختلف تبعا لذلك درجة الحرارة التي يمكن الحصول عليها في المجمعات المختلفة.

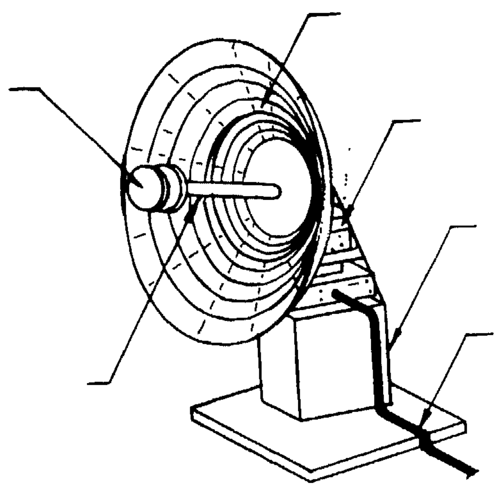
المجمع الشمسي المركز المركب



مجمع المجري المركز



مجمع الطيف المركز



شكل ٨ ــ المجمعات الشمسية المركزة

جـ ـ المجمعات الشمسية المفرغة:

رأينا أن تصاميم المجمعات الشمسية المركزة تؤدي الى تقليل مساحة السطح الفاقد للحرارة وذلك لتقليل كمية الحرارة المفقودة من السطح الماص الى الجو المحيط ولكن نتيجة لارتفاع درجة حرارة السطح الماص فانه يفقد كمية من الحرارة تتناسب وفارق درجات الحرارة بين السطح والجو المحيط، وبهذا فانه لا يتم التغلب على مشكلة فقدان الحرارة بالحمل بل يجري تقليل مفعولها.

وتتغلب المجمعات الشمسية المفرغة على هذه المشكلة بواسطة الغاء الوسط المادي الذي تنتقل الحرارة خلاله وهو الهواء، ويتم ذلك بواسطة تثبيت الانبوب الحامل للسائل داخل اسطوانة زجاجية مقفلة ومفرغة من الهواء في ذات الوقت، ونتيجة لقدرة الضوء على الانتقال في الفراغ فان تفريغ الاسطوانة الزجاجية من الهواء لا يقف عثرة أمام وصول أشعة الشمس الى السطح الماص داخلها، فالاسطوانة الزجاجية المفرغة تسمح لأشعة الشمس بالوصول الى السطح الماص لكنها تمنع انتقال الحرارة بالحمل من السطح الماص الى الخارج.

ما تقدم لا يعني أن المجمعات المفرغة لا تفقد جزءا من الحرارة المكتسبة بل يعني أنه يتم التغلب على فقدان الحرارة بالحمل فقط، ويبقى أن المجمّعات المفرغة تفقد بعض حرارتها بواسطة التوصيل والاشعاع، ويتم فقدان الحرارة بالتوصيل عند طرفي الانبوب الزجاجي عند نقطة دخول وخروج الانبوب الحامل للسائل، غير أن كمية الحرارة المفقودة بالتوصيل عادة ما تكون قليلة خاصة اذا ما استعملت العوازل الحرارية بين الاسطوانة الزجاجية والانبوب المعدني، وبذلك يبقى فقدان الحرارة بالاشعاع هو المصدر الرئيسي للحرارة المفقودة اضافة الى ما ينعكس من أشعة الشمس على السطح الماص نفسه، وتبلغ نسبة الحرارة المفقودة بواسطة الاشعاع

والانعكاس عن السطح الماص ١٥ ــ ٢٠٪ من قيمة الاشعاع الواصل الى السطح الماص.

إن اختيار الشكل الاسطواني للانبوبة الزجاجية المفرغة من الهواء ليس أمرا عشوائيا بل يهدف الى تقليل الضغط الواقع على وحدة المساحة من سطح الانبوبة الزجاجية نتيجة لاختلاف الضغوط على جانبيها (الضغط الجوي على السطح الخارجي والفراغ على السطح الداخلي).

كما في المجمعات الشمسية المسطحة والمركزة كذلك في المجمعات المفرغة هناك عدة أشكال وتصاميم شائعة، ففي بعض هذه المجمعات يدخل الانبوب المعدني من طرف ويخرج من الطرف الآخر، وأما في البعض الآخر فان الانبوب المعدني يدخل ويخرج من نفس الطرف وبذلك يأخذ شكل داخل الاسطوانة الزجاجية، كذلك تختلف تصاميم الأسطح الماصة في المجمعات المفرغة، وأهم التصاميم الشائعة هي :ــ

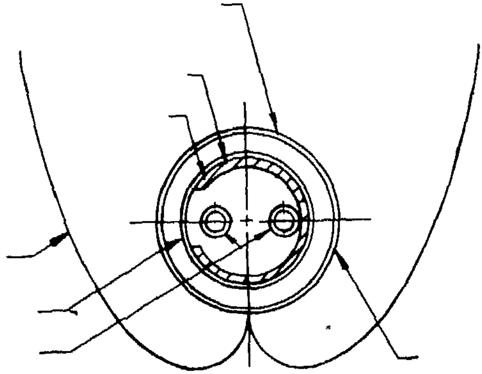
١ ــ **المجمع المفرغ ذو الاسطوانتين الزجاجيتين**: يتكون هذا المجمع من اسطوانتين زجاجيتين وانبوب معدني يحمل السائل المراد تسخينه، تكون الاسطوانة الزجاجية الخارجية من النوع الشفاف الذي يسمح لأشعة الشمس بالنفاذ الى الداخل، أما الاسطوانة الزجاجية الداخلية فيطلى سطحها الخارجي بأحد الطلاءات التي تجعل منه سطحا انتقائيا لرفع كفاءة امتصاص أشعة الشمس بينما يثبت لوح رقيق من النحاس في جدارها الداخلي، وبالنسبة للمسافة الفاصلة بين الاسطوانتين فانها تفرغ من الهواء لمنع انتقال الحرارة بالحمل من الاسطوانة الداخلية الى الخارج.

يمر انبوب معدني في الاسطوانة الداخلية بحيث يكون ملتصقا بلوح النحاس المثبت على السطح الداخلي للاسطوانة الزجاجية الداخلية، فعند وصول أشعة الشمس الى السطح الانتقائي للاسطوانة الداخلية يقوم بامتصاصها وتحويلها الى حرارة تنتقل عبر جدار الاسطوانة الى لوح النحاس

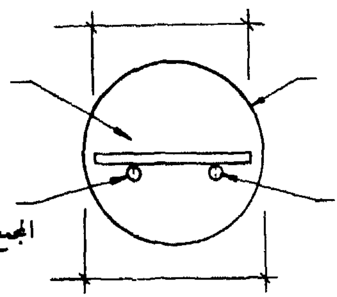
ومن ثم الى الانبوب فالسائل المار داخله مما يؤدي الى رفع درجة حرارة السائل، في **الشكل رقم (٩)** نقدم مقطعا عرضيا لهذا المجمع.

٢ ــ **المجمع المفرغ ذو الاسطوانة الزجاجية الواحدة:** يتكون هذا المجمع من اسطوانة زجاجية شفافة ومفرغة من الهواء ويمر خلالها انبوب معدني مثبت على صفيحة معدنية، يطلى سطح الصفيحة المعدنية المواجة للاشعاع الشمسي بطلاء يجعل منه سطحا انتقائيا لرفع كفاءة امتصاصه للاشعاع الشمسي، فعند مرور أشعة الشمس خلال جدار الاسطوانة الزجاجية يقوم السطح الانتقائي للصفيحة بامتصاصها ونقل التأثير الحراري من ثم الى الانبوب المعدني فالسائل المار فيه، الأمر الذي يؤدي الى رفع درجة حرارة السائل، وفي **الشكل رقم (٩)** نقدم مقطعا عرضيا لهذا المجمع.

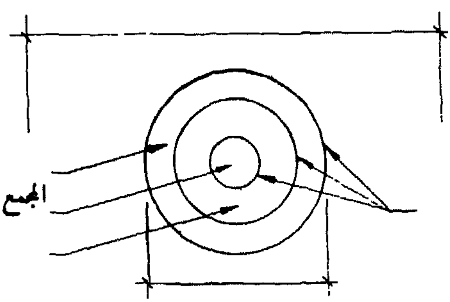
هناك تصاميم أخرى من المجمعات الشمسية المفرغة التي تستعمل أنابيب زجاجية بدل الأنابيب المعدنية غير أنها ليست شائعة الاستعمال كالشكلين السالف ذكرهما، على أنه تجدر الاشارة الى أن المجمعات المفرغة لا تخلو من بعض الجوانب السلبية الناجمة عن اعتبارات التصميم أو الاعتبارات العملية، فالمجمع الشمسي المفرغ يتكون في العادة من مجموعة من الأنابيب المفرغة التي تفصل بينها مسافات قصيرة (فراغات) وهذه لا تستفيد من الاشعاع الشمسي الساقط عليها، ولذلك فان السطوح الانتقائية لا تستفيد من كل الاشعاع الساقط على المساحة الكلية التي يشغلها المجمع، وفي محاولة للتغلب على هذه العقبة يجري تثبيت الاسطوانة المفرغة على الخط البؤري للسطح العاكس لمجمع مركز بحيث تكون مجموعة الأسطح العاكسة المستعملة متراصة ولا فراغات بينها، وبهذا تتم الاستفادة من الاشعاع الساقط على المساحة الكلية التي يشغلها المجمع المفرغ، أما الجانب السلبي الآخر فيتعلق بنقطة اتصال الانبوب المعدني بالاسطوانة الزجاجية، اذ تعتبر نقطة الاتصال هذه حلقة ضعيفة في التصميم تنجم عنها بعض المشكلات العملية التي قد



مجمع شمسي مفرغ
مركز



المجمع المفرغ ذو الاسطوانة الزجاجية الواحدة



المجمع المفرغ ذو الاسطوانتين الزجاجيتين

شكل ٩ ـ المجمعات الشمسية المفرغة

تؤدي الى تسرب الهواء الى داخل الاسطوانة وربما الى كسر الاسطوانة نفسها نتيجة لاختلاف معامل تمدد الانبوب المعدني والاسطوانة الزجاجية.

مقارنة بين المجمعات الشمسية:

تطرقنا في الصفحات السابقة للأنواع الثلاثة الشائعة من المجمعات الشمسية وهي المجمعات المسطحة والمركزة والمفرغة من حيث التركيب والتصميم والخصائص العلمية والهندسية لكل منها، وفي العادة حين يتوفر أكثر من خيار أمام الانسان لتأدية هدف معين فان عليه اختيار الوسيلة الملائمة ذات الفعالية لتأدية الغرض المطلوب، فالمجمعات الشمسية بأنواعها وأشكالها المختلفة تقوم بتحويل الطاقة الشمسية الى طاقة حرارية على درجات حرارة مختلفة وبكفاءات مختلفة وتكاليف اقتصادية مختلفة، ومن هنا يجب على الشخص المهتم أو المختص أن يعمل مفاضلة بين أنواع المجمعات المختلفة لتحقيق الغرض المطلوب بكفاءة وفعالية عالية.

من الضروري في البداية أن يعرف المرء خصائص الطاقة التي يحتاجها، وبالنسبة لاستعمالات الطاقة الحرارية فان الجانب المهم هو معرفة نوع الطاقة المطلوبة بمعنى كونها طاقة حرارية على درجة حرارة منخفضة أو متوسطة أو عالية، إن معرفة درجة الحرارة المطلوبة لتأدية غرض معين تضعنا على بداية الطريق نحو اختيار المجمع المناسب، فلو فرضنا أننا بحاجة لانتاج بخار الماء على درجات حرارة عالية وضغوط مرتفعة لاستعماله في العمليات الصناعية أو في توليد الطاقة الكهربائية فان هذا يفرض بصورة تلقائية ضرورة غض النظر عن المجمعات المسطحة والبحث عن المجمعات المركزة، وبعدها يبدأ البحث عن أكثر المجمعات المركزة ملاءمة للغرض المطلوب، أما اذا كنا نتكلم عن الحاجة لتسخين المياه لأعراض التدفئة وأغراض الاستعمالات المنزلية فان هذا يعني تلقائيا غض النظر عن المجمعات المركزة ذات نسب التركيز العالية، ولا يكمن السبب في ذلك في أن المجمعات

المركزة لا يمكنها انتاج مثل درجات الحرارة تلك بل في أن هذا النوع من المجمعات يمكنه انتاج نوعية أفضل من الطاقة بحيث تسقط التبريرات العلمية والعملية والاقتصادية لاستعمال المجمعات المركزة في انتاج طاقة حرارية على درجات حرارة منخفضة.

في بعض التطبيقات الحرارية للطاقة الشمسية تبرز الحاجة الى انتاج طاقة حرارية على درجة حرارة قريبة من درجة الغليان (٨٠ ــ ٩٠ درجة مئوية) كاستعمالات المياه الحارة في العمليات الصناعية وفي تقطير المياه أو التبريد، وعلى مثل درجة الحرارة هذه يصبح اختيار المجمع الشمسي الملائم أكثر صعوبة، فبالنسبة للمجمعات المسطحة فان كفاءتها تنخفض مع ارتفاع درجة الحرارة المطلوبة، وأما بالنسبة للمجمعات المركزة فان بعضها يلائم انتاج الطاقة الحرارية على مثل هذه الدرجات، وكذلك الأمر بالنسبة للمجمعات المفرغة التي تتمتع بمزايا عديدة تجعلها في موضع المنافس للمجمعات الأخرى.

حين تبرز مثل هذه الحاجة يتطلب الأمر دراسة تفصيلية تأخذ بعين الاعتبار خصائص الاشعاع الشمسي والظروف المناخية في المنطقة موضع الاهتمام والتكلفة الاقتصادية للمجمعات المختلفة وتكلفة التركيب والصيانة خلال عمر المشروع، وبالاضافة الى ذلك فقد تظهر هناك بعض الضرورات المعمارية (خاصة في التطبيقات السكنية) التي تحبذ استعمال نوع من المجمعات بدل الأنواع الأخرى لاعتبارات جمالية أو بسبب ثقل المجمعات أو المساحة المتوفرة لتركيبها، ولا بأس والحالة هذه أن يؤخذ الجانب الاقتصادي كأحد العوامل الأساسية في اختيار المجمع الملائم وذلك بحساب تكلفة وحدة الحرارة في الأنواع المختلفة من المجمعات، وفي الواقع يكون النظر الى المسألة من الجانب الاقتصادي عادة هو العامل الفعال الذي يؤخذ بعين الاعتبار في معظم التطبيقات للافادة من الطاقة الشمسية، وهو بدون شك السبب الأساسي وراء انتشار استعمال التطبيقات الحرارية بدل انتاج

الطاقة الكهربائية بواسطة الخلايا الشمسية واستعمال الكهرباء الناتجة من ثم في التطبيقات المختلفة.

من جانب آخر، لو افترضنا أن الاشعاع المنتشر يشكل نسبة عالية من الاشعاع الكلي في منطقة ما فان هذا يشكل عقبة أمام استعمال المجمعات المركزة ويقلل من فرص استخدامها ذلك أنها لا تفيد الاّ من الاشعاع المباشر. وفي هذه الحالة تبقى المقارنة محصورة بين المجمعات المسطحة والمفرغة ما لم تكن درجة الحرارة المطلوبة عالية الى الدرجة التي يتطلب الأمر معها استخدام المجمعات المركزة بغض النظر عن طبيعة الاشعاع المتوفر.

والخلاصة أنه يتطلب اختيار المجمع الشمسي الملائم معرفة دقيقة وتفصيلية بالجوانب البيئية والعملية والاقتصادية للتطبيق موضع الاهتمام، ولابد من أخذ كل هذه العوامل بعين الاعتبار عند تقرير نوع المجمع المطلوب. غير أنه يمكننا القول إن المجمعات المسطحة تعتبر الأفضل في التطبيقات التي تتطلب طاقة حرارية على درجة حرارة ٦٠ ــ ٧٠ درجة مئوية بينما تصلح بعض المجمعات المركزة للتطبيقات التي تتطلب درجات الحرارة العالية، ٢٠٠ درجة مئوية أو أكثر، وأما في المدى المتوسط فيتطلب الأمر دراسة تفصيلية وافية.

التطبيقات الحرارية للطاقة الشمسية:

تشكل الطاقة الحرارية جزءا كبيرا من مجمل استعمالات البشر من الطاقة، وتتضح هذه الصورة بشكل أفضل فيما لو نظرنا الى النوع النهائي من الطاقة الذي نحتاجه بدل النظر الى نوع الطاقة التي يتم تزويد المستهلك بها، فمثلا تستعمل السخانات الكهربائية في العديد من البيوت لتسخين المياه للأغراض المنزلية، ونعلم أن تسخين المياه يحتاج الى طاقة حرارية غير أن ما يستخدمه المستهلك هو الطاقة الكهربائية التي يتم تحويلها الى طاقة حرارية، وينطبق الأمر ذاته على أعمال الطبخ والغسيل واحتياجات

المصانع من المياه الساخنة حيث الطاقة المطلوبة هي طاقة حرارية لا غير، وكذلك الأمر بالنسبة لتدفئة البنايات والمنازل وتقطير المياه وانتاج البخار في محطات توليد الطاقة الكهربائية فانها جميعا عمليات تحتاج الى طاقة حرارية.

وسنتطرق في الصفحات اللاحقة الى التطبيقات الحرارية المختلفة للطاقة الشمسية، تلك الطاقة التي يتم الحصول عليها بواسطة استعمال المجمعات الشمسية.

١ ـ تسخين المياه:

تشترك المجمعات الشمسية في أنها تقوم جميعاً بتسخين السوائل المارة فيها، ومن ضمنها الماء أكثر السوائل استعمالاً في تطبيقات الطاقة الشمسية. وعند الحديث عن تسخين المياه بالطاقة الشمسية يكون المقصود بذلك رفع درجة حرارتها الى ما يكفي لجعلها صالحة لبعض الأغراض المنزلية أو الصناعية كالاستحمام والغسيل وانتاج المياه الحارة للعمليات الصناعية، بمعنى رفع درجة حرارة المياه الى حوالي ٦٠ درجة مئوية، ولتحقيق هذا الغرض تستعمل المجمعات الشمسية المسطحة ذات التكلفة الاقتصادية المنخفضة نسبياً والتي تعمل بكفاءة عالية على درجات الحرارة هذه.

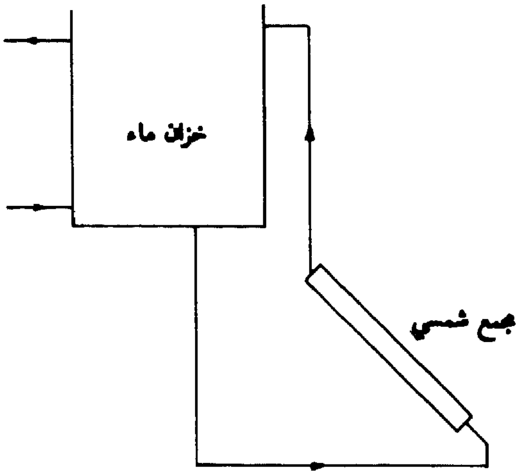
يتكون نظام تسخين المياه بالطاقة الشمسية من مجموعة المجمعات الشمسية المسطحة وخزان المياه والأنابيب التي تصل بين المجمعات والخزان، تتحرك المياه من الخزان الى المجمعات حيث ترتفع درجة حرارتها وتعود من ثم الى الخزان، ولأجل ضخ المياه من الخزان الى المجمعات تستعمل مضخات المياه في بعض التصاميم بينما تتحرك المياه في تصاميم أخرى بفعل ظاهرة السيفون الحراري، ويشيع استعمال أنظمة تسخين المياه التي تستعمل المضخات في التطبيقات الصناعية حيث تكون هناك حاجة

لتسخين كميات كبيرة من الماء بكفاءة مرتفعة، وأما بالنسبة للأنظمة التي تعتمد على ظاهرة السيفون الحراري فيشيع استعمالها في السخانات الشمسية الصغيرة الحجم المستعملة في المنازل. **في الشكل رقم (١٠)** نقدم مخططاً هيكلياً لكلا النظامين.

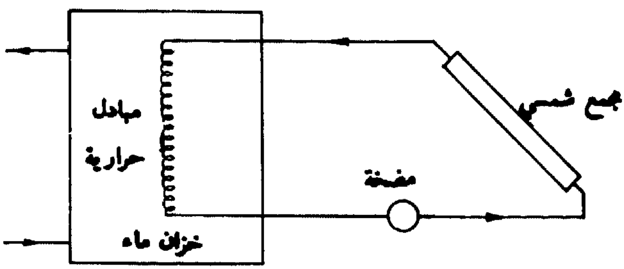
في السخانات الشمسية التي تعمل بنظام السيفون الحراري يجب وضع خزان المياه في مستوى أعلى من مستوى المجمع الشمسي بمقدار ٣٠ — ٦٠ سم. وحين تسقط أشعة الشمس على سطح المجمع ترتفع درجة حرارة الماء الموجود داخله وتقل كثافته تبعاً لذلك، أما الماء الموجود في الخزان فيكون على درجة حرارة أقل من درجة حرارة ماء المجمع، وبالتالي تكون كثافته أعلى من كثافة ماء المجمع، هذا الفارق في الكثافة بين ماء الخزان وماء المجمع هو الذي يشكل القوة المحركة التي تقوم بدفع ماء المجمع الى أعلى الخزان ليحل محلها ماء بارد من أسفل الخزان، وما دام الاشعاع الشمسي كافياً لرفع درجة حرارة ماء المجمع الى درجة أعلى من حرارة ماء الخزان فان عملية السيفون الحراري تستمر في تحريك المياه من أسفل الخزان الى المجمع ثم الى أعلى الخزان، وهكذا.

أما في أنظمة التسخين التي تعتمد على المضخات لتحريك المياه بين الخزان والمجمعات فإن موقع الخزان بالنسبة للمجمعات ليس بالأمر المهم اذ يمكن أن يكون في مستواها أو في مستوى منخفض، والهدف من استعمال المضخات هو رفع كفاءة نظام تسخين المياه بالمقارنة مع الأنظمة التي تعتمد على ظاهرة السيفون الحراري.

ويتطلب تصميم أنظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية معرفة كمية المياه الساخنة المطلوبة، ودرجة حرارتها ومعرفة مقادير الاشعاع الشمسي المتوقع سقوطها على سطح المجمعات، واعتماداً على هذه المعلومات يستطيع المصمم اختيار عدد المجمعات المطلوبة وتحديد معدلات ضخ المياه فيها، وفي العادة يكون الفرق بين درجة حرارة الماء الخارج من المجمع الشمسي والداخل اليه



أ ــ نظام السيفون الحراري



ب ــ نظام التسخين المشري باستعمال مضخة

شكل ١٠ ــ تسخين المياه بالطاقة الشمسية

حوالي ٥ درجات مئوية، ويعتمد ذلك على معدلات ضخ الماء ومساحة المجمع وكفاءته وكمية الاشعاع الشمسي، ولذلك اذا تطلب الأمر رفع درجة حرارة ماء الخزان بمقدار ٤٠ درجة مئوية فيجب تحريك مياه الخزان بحيث تكمل دورتها داخل المجمعات ثماني مرات على الأقل. وبالنسبة للسخانات الشمسية المنزلية فإن هناك بعض المواصفات القياسية المتبعة كقواعد عامة في تحديد حجم الخزان بالنسبة لمساحة المجمع. وفي الكثير من السخانات الشائعة يحدد حجم الخزان على أساس ١٠٠ لتر لكل متر مربع من مساحة المجمع، فإذا كانت مساحة المجمع الشمسي تساوي مترين مربعين يكون حجم الخزان ٢٠٠ لتر، ويجدر بالذكر أن من الضروري عزل خزان المياه وأنابيب التوصيل بمواد عازلة لتقليل التسرب الحراري من الخزان والأنابيب الى الخارج.

ان تسخين المياه بالطاقة الشمسية أكثر تطبيقات الطاقة الشمسية شيوعاً وأكثرها ملاءمة من الناحية التكنولوجية والاقتصادية في ذات الوقت. وينتشر استعمال السخانات الشمسية في العديد من دول العالم بما فيها العديد من الدول العربية كالأردن وفلسطين وسوريا ولبنان ومصر ودول الشمال الأفريقي، ولا يقتصر الأمر على الاستعمال فقط بل إن بعض الدول العربية تقوم بتصنيع السخانات الشمسية محلياً كما في الأردن وفلسطين ولبنان ومصر. وقد بديء بتصنيع السخانات الشمسية في العالم العربي منذ سنوات قليلة في ورش صغيرة غير أنه تم في الآونة الأخيرة انشاء صناعات متخصصة مزودة بوسائل ميكانيكية حديثة.

٢ ـ التدفئة:

التدفئة بكل بساطة هي عملية ضخ حرارة داخل حيز مادي، وعند الحديث عن التدفئة في تطبيقات الطاقة الشمسية يكون المقصود تدفئة المساكن والبنايات المستعملة للأغراض المختلفة، والتدفئة بالطاقة الشمسية هي ضخ الحرارة المكتسبة في المجمعات الى داخل الحيز موضع الاهتمام،

ولتحقيق هذا الغرض تبرز الحاجة الى استعمال بعض المعدات والأجهزة لنقل التأثير الحراري من المجمع الشمسي الى داخل البناية.

وهناك نظامان للتدفئة بالطاقة يستخدم أحدهما الهواء بينما يستخدم الآخر الماء، ففي نظام التدفئة بالهواء يتم تسخين الهواء في المجمعات الشمسية ومن ثم دفعه الى داخل البناية بواسطة مروحة لتدفئة البناية أو الحيز موضع الاهتمام، ولا يختلف تصميم المجمع الشمسي المستعمل لتسخين الهواء عن ذلك المستعمل لتسخين الماء الا في تصميم الصفيحة الماصة، وتحديداً في تصميم مجرى الهواء، فبينما يتخذ مجرى الماء شكل الأنبوب يكون المقطع العرضي لمجرى الهواء مستطيلاً، وأما بالنسبة لأنظمة التدفئة بالطاقة الشمسية التي تستعمل الماء فإنها تتضمن مبادلات حرارية يجري عبرها نقل الحرارة من الماء القادم من المجمع الشمسي الى الهواء المدفوع الى داخل الحيز.

ولا تختلف أنظمة التدفئة بالماء الساخن بالشمس عن أنظمة تسخين المياه المعتادة الا في الأجهزة الاضافية المطلوبة لنقل التأثير الحراري الى داخل البناية، وأما باقي أجزاء نظام التدفئة فهي تلك المستعملة في أنظمة تسخين المياه بشكل أساسي، وهناك بالطبع فارق في عدد المجمعات الشمسية المطلوبة وفي حجم خزان المياه الساخنة، ويتم تحديدهما اعتماداً على مقدار حمل التدفئة المطلوبة.

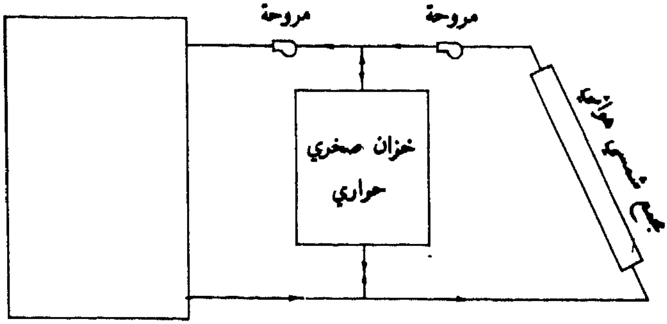
ان درجة حرارة المياه المطلوبة للتدفئة هي نفسها المطلوبة في أنظمة تسخين المياه، أي حوالي ٦٠ درجة مئوية، أما في أنظمة تسخين الهواء فيتم رفع درجة حرارة الهواء الى حوالي ٣٥ درجة مئوية، والسبب في اختلاف درجات الحرارة في كلا النظامين هو أن الهواء المسخن في المجمعات يُدفع الى داخل الحيز موضع الاهتمام مباشرة دون الحاجة الى الدخول في عمليات التبادل الحراري مع موائع أخرى، بينما في أنظمة التدفئة بالماء الساخن يتم استعمال المبادلات الحرارية لنقل التأثير الحراري من الماء الساخن الى الهواء، وعلى ذلك يتطلب الأمر أن تكون درجة

حرارة الماء الداخل الى المبادل الحراري أعلى من درجة حرارة الهواء الخارج من المبادل الحراري بحوالي ٢٠ ـ ٢٥ درجة مئوية.

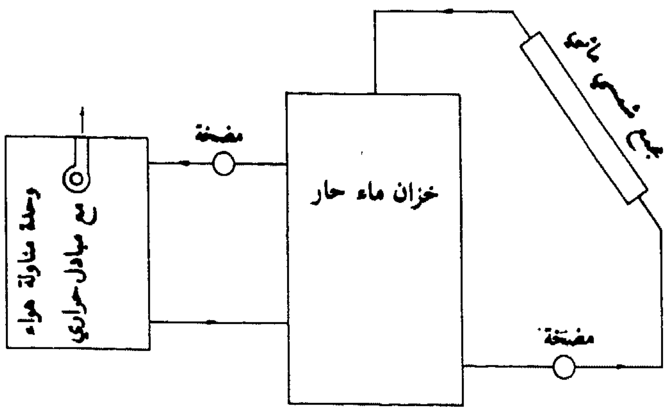
يظهر في الشكل رقم (١١) مخططان هيكليان يمثل أحدهما نظام تدفئة بالطاقة الشمسية يستخدم الهواء بينما يستخدم الآخر الماء، ويتشابه كلا النظامين في أنهما يتكونان من نظام لتجميع الطاقة (المجمعات الشمسية) ونظام لنقلها الى داخل الحيز اضافة الى نظام التخزين الحراري، والغاية من استخدام أنظمة التخزين الحراري في أنظمة التدفئة هو تخزين الحرارة في فترات الاشعاع الشمسي أثناء النهار واستعمالها في أوقات عدم توفر الاشعاع الشمسي في الليل أو في الفترات الغائمة.

ويتكون نظام التخزين الحراري في أنظمة التدفئة بالهواء من خزان صخري يحتوي على صخور صغيرة يتراوح قطرها ما بين ٢ ـ ٥ سم (الحصى الشائع الاستعمال). ولتخزين الحرارة في الخزان الصخري يجري امرار الهواء الساخن القادم من المجمعات الشمسية في كومة الحصى الموضوعة داخل خزان خشبي أو في سرداب البيت، وتنتقل الحرارة بالحمل من الهواء الى الحصى نتيجة لملامسته لسطوحها مما يؤدي الى رفع درجة حرارتها تدريجياً، ومادامت درجة حرارة الهواء المار بين الحصى أعلى من درجة حرارة الحصى نفسه فإن الحرارة تستمر في الانتقال من الهواء الى الحصى، وحين لا يتوفر الاشعاع الشمسي وتبرز الحاجة الى التدفئة يتم دفع هواء الحيز الى داخل الخزان الصخري لتسخينه ودفعه من ثم الى داخل الحيز لتدفئته.

على أن هناك بعض العوامل العملية والاقتصادية التي تحدد نظام التخزين الحراري كأن يبنى الخزان بحيث يمكنه خزن ما يكفي لتدفئة البيت ليوم واحد، واذا حدث أن ساءت الأحوال الجوية بحيث لا يتوفر هناك اشعاع شمسي لمدة يوم أو أكثر فإن نظام التدفئة الشمسي لا يمكنه المساهمة في تدفئة الحيز، ولتجنب الوصول الى هذا الوضع بما يتضمنه من



أ ــ نظام تدفئة بالهواء



ب ــ نظام تدفئة بالماء

شكل ١١ ــ أنظمة تدفئة بالطاقة الشمسية

ازعاجات فإن أنظمة التدفئة الشمسية تضم في العادة مصدراً حرارياً يعمل على مصادر الطاقة التقليدية (نفط، غاز، فحم، كهرباء) يجري استعماله عند الحاجة.

أما في أنظمة التدفئة بالماء الساخن فإن نظام التخزين الحراري يتكون من خزان ماء يتم تخزين المياه الساخنة فيه أثناء ساعات الاشعاع الشمسي ليتم استعمالها في الأوقات التي لا تتوفر فيها الطاقة الشمسية، وكما هي الحال بالنسبة لأنظمة التسخين بالهواء يتم تحديد حجم خزان الماء اعتماداً على اعتبارات عملية واقتصادية وكذلك فإن أنظمة التسخين بالماء تضم مصدراً حرارياً مساعداً (سخان ماء) لتزويد الحرارة المطلوبة في الفترات التي لا تتوفر فيها الطاقة الشمسية وحين لا يتوفر هناك مخزون حراري.

وهناك العديد من البيوت التي تدفأ بالطاقة الشمسية في المناطق ذات الأجواء الباردة كبعض مناطق الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا واليابان، وبسبب التكلفة الاقتصادية المرتفعة نسبياً لأنظمة التدفئة الشمسية فإنها تتوسع بشكل بطيء والأغلب أن لا تنتشر بشكل واسع الا من خلال سياسات الدعم الحكومي، وبالنسبة للدول العربية فإن استخدام الطاقة الشمسية في التدفئة سيقتصر على مناطقها الشمالية ذات الأجواء الباردة شتاء، وأما في مناطقها الجنوبية فالحاجة للتدفئة ليست بذات درجة الحاجة الى التبريد، وبالمناسبة فإن المجمعات الشمسية المطلوبة في التبريد الشمسي يمكنها تقديم متطلبات التدفئة شتاء مما يعني أن استخدام التبريد الشمسي يحمل ضمناً امكان التدفئة بالطاقة الشمسية.

وتقتصر نشاطات استخدام الطاقة الشمسية لأغراض التدفئة في العالم العربي على بعض البيوت التجريبية التي ترعاها مؤسسات البحث العلمي في بعض الدول العربية كما في الكويت والأردن والعراق ومصر والجزائر، بالاضافة الى عدد من البيوت السكنية.

٣ ــ التبريد الشمسي:

يمكننا تعريف التبريد بشكل عام بأنه عملية ضخ الحرارة من داخل حيّز معين الى الخارج، وبهذا فإن عملية التبريد هي نقيض عملية التدفئة، ومن أجل تحقيق هذا الغرض يجب استعمال أداة ميكانيكية تقوم بضخ الحرارة الى الخارج، والأسلوب الشائع لضخ الحرارة هو دفع هواء بارد الى داخل الحيز ليقوم بنقل الحرارة الى الخارج مباشرة أو لنقلها الى مبادل حراري يتولى بدوره نقلها الى الخارج.

تتكون أجهزة التبريد الشائعة من ضاغط (Compressor) ومبادلين حراريين يقوم أحدهما (المبخر) باكتساب الحرارة من داخل الحيز، بواسطة تبريد الهواء، ونقلها الى المبادل الحراري (المكثف) بواسطة الضاغط، وفي المكثف تتم عملية طرد الحرارة الى الأجواء المحيطة، ولوضع مضخة الحرارة هذه موضع العمل فلابد من توفر مصدر طاقة لتشغيل الضاغط، وفي أنظمة التبريد الشائعة يجري استعمال الموتور الكهربائي لتشغيل الضاغط، وفي هذه الحالة تشكل الطاقة الكهربائية مصدر الطاقة الملائم لتشغيل أجهزة التكييف.

وبالاضافة الى نظام التبريد السابق ذكره هناك أنظمة أخرى تؤدي نفس الغرض التبريدي لكنها تعمل بالطاقة الحرارية وليس بالطاقة الميكانيكية أو الكهربائية. ومن ضمن هذه الأنظمة نظام يدعى بالتبريد الامتصاصي Absorption Cooling .

يتكون نظام التبريد الامتصاصي من أربعة أقسام أساسية هي المولّد Generator والماص Absorber والمكثف Condenser والمبخر Evaporator. وبالمقارنة مع أنظمة التبريد التقليدية الشائعة نجد أن الفرق يكمن في غياب الضاغط واستبدال المولد والماص به، وحيث تستعمل أنظمة التبريد التقليدية غازات الفريون كوسيط تبريدي فإن أنظمة

التبريد الامتصاصي تستعمل مزيج بروميد الليثيوم والماء أو مزيج الأمونيا والماء.

في نظام مزيج بروميد الليثيوم والماء يقوم الماء بدور الوسيط التبريدي بينما يقوم بروميد الليثيوم بدور الوسيط المساعد لاتمام الدورة التبريدية ، أما في نظام مزيج الأمونيا والماء فإن الأمونيا هي الوسيط التبريدي بينما يقوم الماء بدور الوسيط المساعد، ونظراً لكون الماء هو الوسيط التبريدي في نظام التبريد الأول فإن هذا يفرض بعض التحديدات على مجالات استعمال هذا النظام ذلك أن الماء يتجمد عند درجة الصفر المئوي ، ولذلك يصلح هذا النظام التبريدي في أعمال تبريد الهواء أو تبريد المياه الى درجة حرارة لا تقل في العادة عن ٨ درجات مئوية ، وهي الدرجة الصالحة لأعمال التكييف وتبريد الهواء الشائعة ، أما في نظام مزيج الأمونيا وبخار الماء فبالامكان تحقيق درجات منخفضة تقل عن الصفر المئوي وذلك لأن الأمونيا هي الوسيط التبريدي ودرجة تجمدها منخفضة جداً ، لكن وبسبب اعتبارات السلامة الصحية والعملية فإن هناك الكثير من التحديدات حول استعمال الأمونيا بحيث يقتصر ذلك على بعض العمليات الصناعية كمصانع الثلج ، ولذلك ففي حديثنا عن التبريد الشمسي فإننا نقصد التبريد بواسطة مزيج بروميد الليثيوم والماء.

يحتاج إتمام الدورة التبريدية في أنظمة التبريد الامتصاصي الى مصدر حراري، وفي أنظمة التبريد الامتصاصي الشمسي تقوم المجمعات الشمسية بدور المصدر الحراري الذي يزود النظام التبريدي بتطلباته. فتستخدم الحرارة لفصل الماء من المزيج وذلك بتبخيره، ولذلك فان درجة حرارة الماء المطلوبة لاتمام عملية الفصل تساوي أو تزيد عن ٨٠ درجة مئوية، ويمكن فصل الماء عن المزيج على هذه الدرجة لأن المزيج يكون تحت ضغط منخفض في مراحل العملية التبريدية كلها (٦ ــ ٦٦ ملم زئبق). وتتم عملية فصل الماء في المولد ويتحرك بخار الماء بعدها الى المكثف بينما

يتحرك بروميد الليثيوم،ـ ويكون عندها مزيجا عالي التركيزـالى الماص، وفي المكثف يتم تكثيف بخار الماء وتحويله الى سائل وذلك بواسطة عملية تبريدية تستخدم المياه القادمة من برج تبريدي على درجة حرارة ٢٤ ــ ٣٢ درجة مئوية، وبعدها يدخل الماء الى المبخر الذي يكون الضغط داخله أقل بكثير من الضغط داخل المكثف، الأمر الذي يؤدي الى تبريد الماء الداخل على حساب تبخير جزء منه، وبهذا يتواجد في داخل المبخر مفعول تبريدي بشكل ماء بارد على ضغط منخفض، وللحصول على هذا المفعول التبريدي تمرر المياه حول هذا المبخر لتقوم بنقل حرارتها الى الماء البارد داخل المبخر، وتؤدي هذه العملية الى تبريد الماء الخارجي وتبخير الماء الموجود في داخل المبخر، ولأجل اتمام دورة مزيج بروميد الليثيوم يجب اعادة مزج بخار الماء مع مزيج بروميد الليثيوم شديد التركيز الذي انتقل في مرحلة سابقة من المولد الى الماص، وتتم عملية المزيج هذه في الماص، وبعدها يتحرك المزيج المخفف من الماص الى المولد لتبدأ الدورة من جديد، وطالما استمر تزويد جهاز التبريد الامتصاصي بالمياه الحارة على درجة الحرارة الملائمة وبمياه التكثيف من برج التبريد وبالمياه المطلوب تبريدها فان النظام يستمر بالعمل، وحينما يتوقف تزويده بالماء الحار (مصدر الطاقة) يتوقف الجهاز عن العمل.

لننظر الآن الى ميزان الطاقة في نظام التبريد الامتصاصي، كما هو الحال مع الأنظمة الديناميكية الحرارية فان مقدار الطاقة الداخلة الى النظام الحراري تساوي الطاقة الخارجة منه، بمعنى أن النظام الحراري لا يخلق الطاقة ولا يفنيها لكنه قد يحولها من شكل الى آخر. وبالنسبة لنظام التبريد الامتصاصي فان ميزان المدخلات والمخرجات هو كما يلي:ــ

١ــ المدخل الحراري في المولد والمطلوب لفصل الماء عن مزيج بروميد الليثيوم والماء، ويتخذ هذا المدخل شكل الماء الحار القادم من المجمعات الشمسية أو سخان الماء.

٢ــ المدخل الحراري في المبخر الذي يقوم بتبخير الماء الشديد البرودة الموجود داخله، و يتخذ هذا المدخل شكل المياه المطلوب خفض درجة حرارتها لتقوم بدورها باكتساب الحمل التبريدي من الحيز موضع الاهتمام.

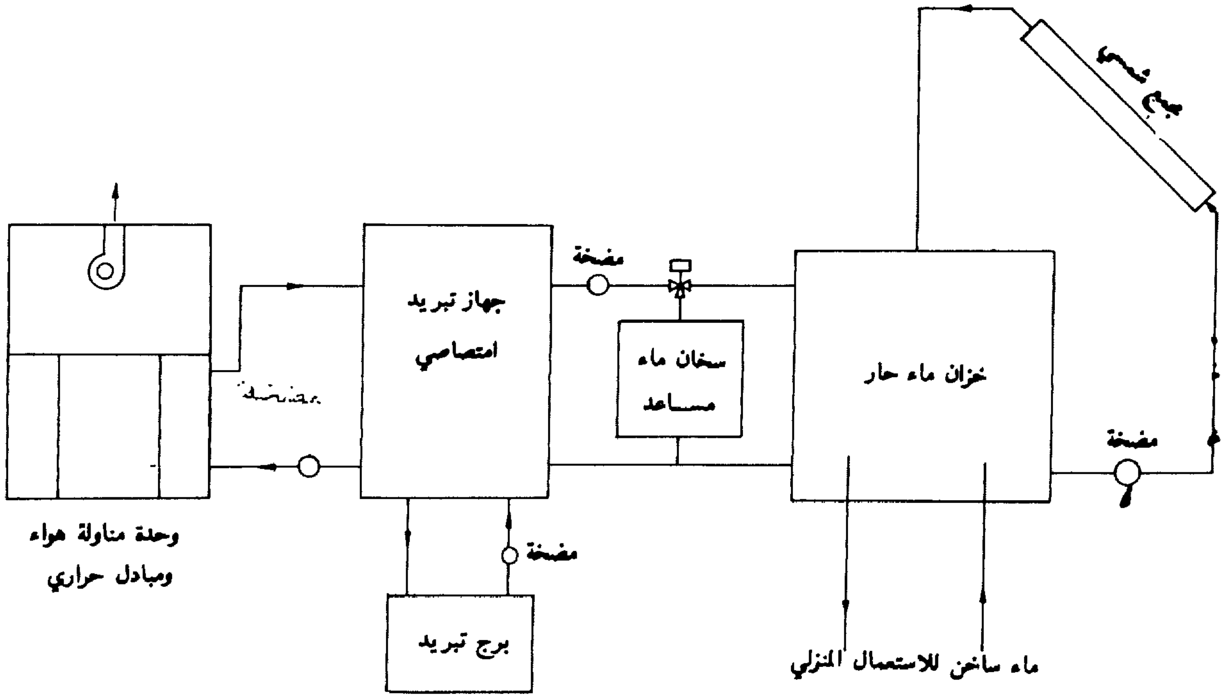
٣ــ المخرج الحراري من الماص والمتمثل بالحرارة الناتجة عن امتزاج بخار الماء مع مزيج بورميد الليثيوم شديد التركيز ويجب التخلص من هذه الحرارة وقذفها الى الخارج.

٤ــ المخرج الحراري من المكثف والمتمثل بالحرارة المفقودة نتيجة لتكثف بخار الماء وأيضا يجب التخلص من هذه الحرارة وقذفها الى الخارج، وهو ما تقوم به مياه التبريد.

ولان مجموع المدخلات يساوي مجموع المخرجات فان:ــ
المدخل الحراري في المولد + المدخل الحراري في المبخر = المخرج الحراري من الماص + المخرج الحراري من المكثف.

يبين **الشكل رقم (١٢)** مخططا هيكليا لنظام تبريد امتصاصي يعمل بالطاقة الشمسية حيث تشكل المجمعات الشمسية المصدر الحراري الذي يقوم بتسخين المياه الى درجة الحرارة المطلوبة لعملية فصل الماء عن بروميد الليثيوم في المولد، وأما خزان الماء الساخن فيشكل مخزن الطاقة الحرارية وتزويد نظام التبريد بحاجته من الطاقة الحرارية أو جزء منها أثناء عدم توفر الاشعاع الشمسي الكافي، وأما سخان الماء المساعد فانه يقوم بمهمة تسخين المياه حينما لا يتوفر اشعاع شمسي ولا مخزون من المياه الحارة، وبهذا فان المجمعات الشمسية وخزان الماء الحار وسخان الماء المساعد تشكل مصدر الحرارة المطلوب لاحداث عملية فصل الماء عن بروميد الليثيوم في المولد.

و يتمثل المدخل الحراري الآخر في نظام التبريد في **الشكل رقم (١٢)** بدائرة الماء بين المبخر والمبادل الحراري في وحدة مناولة الهواء



شكل ١٢ ـ نظام تبريد امتصاصي بالطاقة الشمسية

اذ يقوم المبادل الحراري بتبريد الهواء الداخل الى الحيز المطلوب على حساب رفع درجة حرارة الماء الذي يعود الى المبخر في جهاز التبريد ليقذف بالحرارة التي اكتسبها من الهواء الى المبخر، و يعود مرة أخرى الى المبادل الحراري وقد انخفضت درجة حرارته.

وأما دائرة المخرجات الحرارية فتتمثل بدائرة المياه التي تحمل المياه الباردة نسبيا من برج التبريد لتمر حول الماص والمكثف حيث تكتسب الحرارة المطرودة من كليهما، تعود مياه التبريد الى البرج وقد ارتفعت حرارتها حيث يتم تبريدها مرة أخرى.

ومازالت التكلفة الاقتصادية المرتفعة تشكل عائقا أمام الانتشار الواسع لأنظمة التبريد الشمسي، ولذلك فان غالبية المشاريع القائمة تتولاها الجامعات أو معاهد البحث العلمي أو بعض الدوائر الحكومية، غير أن اتباع السلطات المختصة لسياسة دعم الطاقة الشمسية، بالشكل الذي تدعم به انتاج الطاقة الكهربائية مثلا، سيفتح مجالات واسعة أمام تطبيقات التبريد الشمسي، ولذلك فمن المحتمل أن تصبح اليابان رائدة في مجال التبريد الشمسي نتيجة لمئات المشاريع التي سيجري انشاؤها في السنوات القليلة القادمة بفضل سياسة الدعم التي تقتصر حاليا على بنايات المؤسسات الحكومية والبلدية بشكل أساسي، وبالاضافة الى اليابان هناك الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي واستراليا حيث يوجد العديد من البنايات المبردة بالطاقة الشمسية.

وفي العالم العربي تعتبر الكويت والمملكة العربية السعودية في المقدمة من حيث تطبيقات التبريد الشمسي، والى وقت قريب كانت جامعات ومعاهد البحث العلمي للبلدين تقوم بتصميم أنظمة التبريد الشمسي وتركيبها وتشغيلها، غير أن شركات القطاع الخاص أخذت في الآونة الأخيرة تبدي اهتماما بالموضوع، الأمر الذي سيفتح مجالات أرحب للمزيد من تطبيقات التبريد الشمسي، وبالاضافة الى الكويت والمملكة العربية

السعودية هناك بعض المشاريع التجريبية في مصر ودول الشمال الافريقي.

٤ــ تجفيف المحاصيل:

التجفيف بشكل عام من أقدم استخدامات الطاقة الشمسية. فالأراضي الوحلة ومياه الأمطار تجف بفعل الحرارة الناتجة عن الاشعاع الشمسي وحركة الرياح، والملابس المغسولة تجف بسرعة عند تعرضها لأشعة الشمس، وكذلك تجف أوراق الأشجار والفواكه والمحاصيل بفعل الشمس.

والتجفيف هو عملية تخليص المواد المختلفة من كل السوائل الموجودة فيها أو من جزء منها للحصول على مواد جافة تحتوي على نسبة أقل من السوائل أو قد لا تحتوي عليها أبدا، وهناك طريقتان رئيسيتان لتجفيف المواد هما:

١ــ التجفيف الميكانيكي الذي يتم بواسطة الضغط أو الطرد المركزي.

٢ــ التجفيف الحراري الذي يتم بواسطة تحويل السائل في المادة الى بخار ومن ثم حمل البخار بعيدا عن المادة، وعند الحديث عن التجفيف بالطاقة الشمسية فالمقصود بذلك التجفيف الحراري، وحتى الآن كان أكثر تطبيقات التجفيف الحراري الشمسي شيوعا هو تجفيف المحاصيل الزراعية وبعض اللحوم.

إن تجفيف المحاصيل مسألة قديمة في التاريخ البشري استعملها الانسان لتخليص المحاصيل من قسم من السوائل الموجودة فيها (الماء) وذلك لمنعها من التلف وجعلها صالحة للخزن لفترات طويلة، وقد عرفت المجتمعات البشرية المختلفة التي تعيش في المناطق المناخية المختلفة أهمية تجفيف المحاصيل ومارستها قرونا طويلة، وقبل تطور الوسائل الحديثة في حفظ المواد الزراعية والمعتمدة على استعمال الكيماويات كان التجفيف يشكل الحل الرئيسي لمسألة حفظ المحاصيل الزراعية فترات طويلة، والواقع أن التجفيف مازال يقوم بدور اساسي في هذا المجال الى يومنا هذا، وقد كانت الطريقة

التقليدية للتجفيف تعتمد على تعريض المواد المراد تجفيفها للشمس وترك مهمة التجفيف لأشعة الشمس وحركة الهواء معا، ولو نظر أي منا الى مطبخ بيته لوجد أنه يضم أكثر من مادة زراعية جافة.

ولعل الفروق بين طريقة التجفيف التقليدي بتعريض المواد الزراعية للشمس وطريقة التجفيف الشمسي الحديثة هي فروق كمية وليست نوعية، فالتجفيف في كلتا الحالتين يقوم على استخدام الحرارة لتخليص المحاصيل من جزء من الماء الموجود فيها. وتكمن الفوارق بين الاسلوبين في أن الطريقة الحديثة تتميز بالسرعة وبالقدرة على تجفيف كميات كبيرة في وقت أقصر وذلك باستعمال المواد والأدوات المساعدة.

يتكون المجفف الشمسي من صندوق توضع في داخله المواد الزراعية المراد تجفيفها وانبوب طويل نسبيا اسطواني الشكل وذي قطر كبير يقوم بدور المجمع الشمسي ومروحة تقوم بدفع الهواء عبر الانبوب الى الصندوق، يصنع الانبوب الذي يمر الهواء خلاله من مواد بلاستيكية رخيصة الثمن ذات لون أسود لزيادة امتصاص الاشعاع الشمسي، يسخن الهواء المدفوع بواسطة المروحة أثناء مروره في الانبوب وترتفع درجة حرارته بضع درجات مئوية فوق درجة الحرارة الخارجية، بعدها يدخل الهواء الحار الى داخل الصندوق حيث يقوم بحمل جزء من بخار الماء الموجود على سطح المواد الزراعية الموضوعة في الداخل، ويخرج من فتحة جانبية الى الخارج، وتستمر العملية بهذا الشكل الى أن يتم تجفيف المحاصيل الى الحد المطلوب، والجدير بالذكر أن عملية تجفيف المحاصيل قد تستمر لعدة أيام، وبالطبع يتم التجفيف أثناء توفر الاشعاع الشمسي فقط .

عند تصميم مجفف شمسي يجب أخذ عدد من الأمور بعين الاعتبار، فبالاضافة الى معرفة مقدار الكمية المطلوب تجفيفها والفترة الزمانية لاتمام ذلك يجب معرفة بعض خصائص المواد الزراعية نفسها، فمن الضروري معرفة كمية الماء المطلوب تخليص المحصول منها بمعنى تحديد نسبة الماء النهائية في

المحصول اذ أن تجفيف المحاصيل الى درجة تقل نسبة الماء فيها عن حدود معينة سيؤدي الى تلفها وجعلها غير صالحة للاستعمال، وكذلك لابد من معرفة درجة حرارة التجفيف ذلك أن بعض المحاصيل الزراعية تتأثر بدرجة حرارة البيئة المحيطة وقد تؤدي الى تلفها سواء كان ذلك بالتأثير المباشر على الياف وأنسجة المحصول أو بتوفير البيئة لحصول بعض العمليات الكيماوية الحيوية كالتعفن أو التحلل مثلا.

إن المجففات الشمسية رخيصة الثمن نسبيا وفعالة، وهذا مما يساعد على انتشارها في المناطق الزراعية في أنحاء مختلفة من العالم، ونظرا لسهولتها التكنولوجية فانها غالبا ما تصنع من المواد المحلية المتوفرة، ففي بعض المناطق الريفية حيث لا تتوفر مراوح دفع الهواء ولا الطاقة الكهربائية لتشغيلها يلجأ المزارعون الى بناء الصناديق وتغطية أحد جوانبها المعرضة معظم النهار لأشعة الشمس بالزجاج أو أحد المواد الشفافة التي تسمح بنفاذ أشعة الشمس، ويؤدي هذا الى رفع درجة الحرارة داخل الصندوق والى تحرك الهواء بفعل فوارق الكثافة ودرجة الحرارة الى داخل الصندوق وخارجه، ويحمل الهواء الخارج من الصندوق معه بعض بخار الماء المكتسب من المحصول الموجود داخل الصندوق.

٥ـ تحلية المياه:

الماء عنصر ضروري للحياة على الأرض وبدونه لا توجد حياة، وتعني هذه الحقيقة أن توفير المياه أمر لا غنى عنه لأي تشكيل ينتمي الى عالم الأحياء، ومن الأمور المؤكدة أن استهلاك الانسان للماء يتزايد مع ازدياد رقيه الحضاري وتوسع قدراته الانتاجية في المجالات الزراعية والصناعية، واذا كانت حاجة الانسان في الماضي قد اقتصرت على تلبية حاجاته اليومية وحاجات أعمال الزراعة وتربية الحيوانات فان العصر الصناعي قد أدى الى ازدياد معدلات استهلاك المياه بشكل كبير فانتاج طن واحد من القمح يحتاج الى ٨٠٠ طن من الماء وانتاج طن من نبات الفصة يستلزم ٧٦٠ طن

من الماء، وأما انتاج طن من الحديد فيحتاج الى ٢٠٠ طن من الماء بينما يحتاج انتاج طن واحد من المطاط الصناعي الى ٢٥٠٠ طن من الماء، وترتفع معدلات استهلاك المياه بالنسبة للفرد في البلدان الصناعية عنها في البلدان الزراعية، ويصرف معظم الماء المستهلك على مجالات الانتاج المختلفة.

وكمثال على ذلك، يبلغ متوسط استهلاك الفرد الأمريكي من الماء حوالي ٢٧٠٠ طن سنويا يستهلك نصف طن واحد منها للشرب و٢٠٠ طن للاستعمالات المنزلية بينما يستخدم الباقي في مجالات الانتاج الزراعي والصناعة والفعاليات المرتبطة بها.

والمطر هو مصدر المياه النقية على الارض المستعملة في المجالات المختلفة وبدون توفر كميات ملائمة من المطر فان أزمة المياه تستفحل، وقد ازداد ادراك الانسان في الآونة الأخيرة الى خطورة استنزاف مخزون المياه من الخزانات الطبيعية تحت الأرض بمعدل يفوق معدل ما تستقبله من مياه أمطار، الأمر الذي أدى الى انخفاض منسوب المياه المخزونه وأخذ يهدد بجفافها، وفي المناطق التي لم يتوفر فيها تاريخيا مخزون كبير من المياه أو لم تتوفر الوسائل التكنولوجية الكفيلة باستغلالها، لجأ الانسان الى تجميع مياه الامطار في الآبار أو البرك الكبيرة، وظل حتى الزمن القريب تجميع مياه الأمطار الحل الأساسي لمشكلة المياه لقطاع من السكان في كثير من بقاع العالم.

إن استخدام الطاقة الشمسية لانتاج المياه النقية الصالحة للاستعمال هو أحد الحلول المطروحة لحل أزمة المياه في المناطق القاحلة والتي تتمتع باشعاع شمسي وفير ومياه مالحة كما في الدول الواقعة على شواطيء البحار، وتعتبر دول الشرق الأوسط من المناطق المؤهلة لاستخدام الطاقة الشمسية في تحلية المياه ذلك أن لمعظمها شواطيء بحرية ويتوفر فيها الكثير من الاشعاع الشمسي.

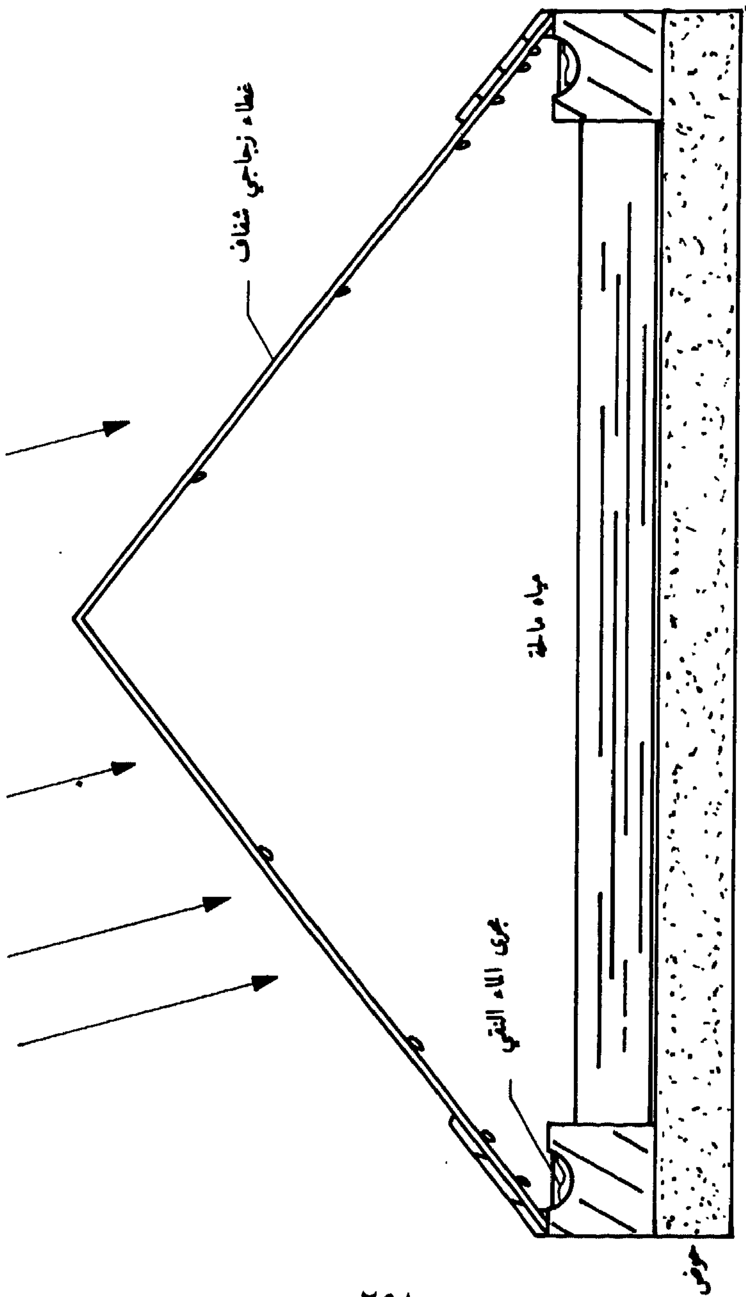
وتتمثل الطريقة التقليدية لانتاج المياه النقية من المياه المالحة في تبخير الأخيرة، حيث يتبخر الماء دون الأملاح والعوالق، ثم تكثيف البخار وتحويله الى مياه نقية، وعلى هذا فان انتاج المياه النقية بالتبخير هو أقرب ما يكون محاكاة للعملية الطبيعية المتمثلة بظاهرة المطر.

وأكثر طرق تحلية المياه بالطاقة الشمسية شيوعا ما يعرف بالمقطر الشمسي Solar Still حيث تستخدم الطاقة الشمسية في تبخير الماء، وأما في طريقة التبخير الومضي المتعدد المراحل Multi-Stage Flash Evaporation فتستخدم الطاقة في رفع درجة حرارة الماء المالح بضع درجات قبل دخوله الى جهاز التبخير الومضي، وسنتعرض فيما يلي لطريقة المقطر الشمسي فقط.

المقطر الشمسي:

يتكون المقطر الشمسي من حوض معزول حراريا ومغلق الاطراف وله غطاء زجاجي شفاف، ويكون الغطاء الزجاجي في العادة مائلا وذلك للسماح للبخار المتكثف عليه أن ينحدر الى مجرى طرفي تتجمع فيه المياه النقية، كما نرى في **الشكل رقم (١٣)**. يمكن بناء الحوض من المواد الرخيصة التي لا تتلف بتأثير الماء، ومن الضروري عزل قعر الحوض وجوانبه بالعوازل الحرارية لتقليل انتقال الحرارة من ماء الحوض الى الخارج وذلك لرفع كفاءة المقطر، وفي العادة يطلى قعر الحوض بالطلاء الأسود أو أي طلاء آخر ملائم للعمل على زيادة امتصاص أشعة الشمس، وفي بعض تصاميم الأحواض تطلى أسطح الحوض العمودية الداخلية بطلاءات عاكسة للاشعاع وذلك لعكس الأشعة الساقطة عليها الى الماء، ومن الضروري احكام اغلاق جوانب الحوض لتقليل تسرب الهواء المشبع بالبخار من الداخل الى الخارج ولتقليل انتقال الحرارة عبر فتحات تسرب الهواء.

يسخن الماء في الحوض نتيجة لسقوط أشعة الشمس وترتفع درجة



شكل ١٣ — مقطر شمسي

حرارته الى مستوى أعلى من درجة حرارة الغطاء الزجاجي وأعلى من درجة حرارة الهواء الموجود داخل الحوض بين سطح الماء والغطاء الزجاجي، وحيث إن ضغط بخار الماء يرتفع مع ارتفاع درجة الحرارة فان ضغط بخار الماء على درجة حرارة الماء أعلى منه على درجة حرارة الهواء داخل الحوض، ونتيجة لهذا الفارق في الضغط بين طبقة البخار الملامسة لسطح ماء الحوض والبخار الموجود في الهواء فان ماء الحوض يأخذ في التبخر لمعادلة ضغط البخار داخل الحوض، ونتيجة لعوامل الحمل الحراري فان الهواء المشبع يتحرك الى الأعلى ويحل محله هواء أقل تشبعا بالبخار.

من الجانب الآخر ذكرنا أن درجة حرارة الغطاء الزجاجي تكون أقل من درجة حرارة ماء الحوض، ولذلك ما إن يلامس البخار المشبع سطح الزجاج حتى يبدأ جزء من البخار بالتكثف حتى يصبح ضغط البخار في الهواء المشبع مساويا للضغط عند درجة حرارة الزجاج، يتكثف البخار على سطح الزجاج وينزلق بتأثير ثقله الى المجاري الجانبية حيث يتجمع ويخرج الى الخارج ماء نقيا. وطالما استمرت فروق درجات الحرارة وفروق الضغوط داخل الحوض قائمة فان عملية التبخر والتكثف تستمر.

من المعلوم أن بخار الماء حين يتكثف يفقد كمية من الحرارة تعرف باسم حرارة التكثيف، وفي حالة المقطر الشمسي فان هذه الحرارة تنتقل الى الزجاج ومنه الى الخارج، أي أنها حرارة مفقودة لا يستفاد منها، وللتغلب على فقدان الحرارة هذا تم تطوير بعض المقطرات الشمسية متعددة الأدوار حيث يتكثف البخار من الحوض السفلي على قعر الحوض العلوي، وبذلك تنتقل حرارة التكثيف الى ماء الحوض العلوي بدل أن تقذف للخارج.

تدل التجارب التي أجريت على المقطرات الشمسية أن كفاءتها تتراوح ما بين ٣٠ــ٤٠٪، بمعنى أن كمية الطاقة المطلوبة لانتاج ما ينتجه المقطر من ماء نقي تعادل ٣٠ــ٤٠٪ من كمية الاشعاع الشمسي الساقط عليه،

وأما الكمية الباقية من الاشعاع الشمسي فتعتبر طاقة مفقودة، وكأي نظام حراري آخر فان مدخلات الطاقة الى المقطر تساوي المخرجات منه، وعليه يتخذ ميزان الطاقة للمقطر الشمسي شكل العلاقة التالية:

الاشعاع الشمسي الساقط على سطح المقطر= الاشعاع الممتص والمنعكس عن الزجاج وأجزاء الحوض الأخرى + حرارة التبخر
+ الحرارة المفقودة من الحوض بالاشعاع والحمل والتوصيل.

ويشكل الاشعاع الممتص والمنعكس عن الزجاج وأجزاء الحوض الأخرى حوالي ٢٠ــ٣٠٪ من مجمل الاشعاع الساقط، وتشكل حرارة التبخر حوالي ٣٠ــ٤٠٪. أما الحرارة المفقودة من الحوض فتشكل حوالي ٣٠ــ٤٠٪ وهي تضم الحرارة المفقودة بالاشعاع من ماء الحوض والحرارة المفقودة عبر جوانب الحوض وقعره والحرارة المفقودة بالحمل عبر الزجاج ونتيجة لتسرب الهواء الخارجي أو تسرب بعض بخار الماء الى الخارج.

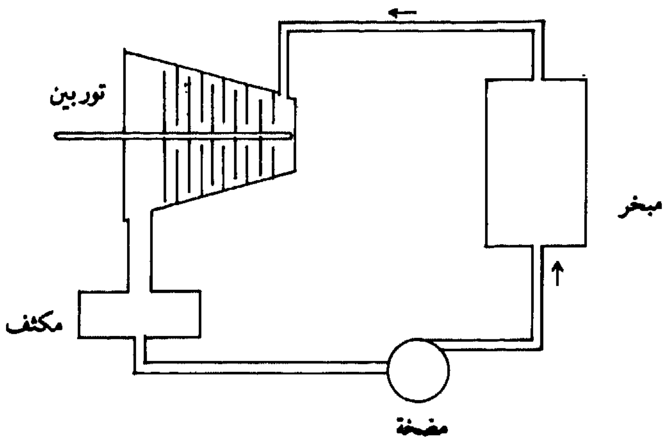
تدل نتائج التجارب التي أجريت على المقطرات الشمسية ان بالامكان انتاج خمسة ليترات من الماء النقي كل يوم من كل متر مربع واحد من مساحة الحوض وذلك في الأيام المشرقة، وتميل بعض المصادر الى اعتبار جالون واحد في اليوم لكل متر مربع قيمة وسطية معقولة، وعلى هذا يمكننا تخيل المساحات الواسعة من المقطرات الشمسية المطلوبة لانتاج ملايين الجالونات من المياه، فمثلا اذا اعتبرنا أن الكويت تنتج حوالي مائة مليون جالون من الماء يوميا فانها بحاجة الى مائة مليون متر مربع من المقطرات الشمسية، واذا أخذنا بعين الاعتبار المساحة المطلوبة للصيانة وتمديد الأنابيب ومحطات الضخ وغيرها فان المساحة الكلية المطلوبة تزيد عن مائة مليون المتر المربع، أي أكبر من مائة كيلومتر مربع، غير أن المناطق التي تعاني من شح المياه عادة ما تكون أراضي قاحلة أو صحراوية لا تشكل المساحة فيها أمرا بالغ الأهمية.

والمقطرات الشمسية ليست شائعة الاستعمال في العالم اذ أن معظم الموجود منها ذو طابع تجريبي، وكان قد بني في القرن الماضي مقطر تبلغ مساحته حوالي ٥١,٠٠٠ قدم مربع في احدى مناطق المناجم في تشيلي، واستمر في العمل الى أن أغلق المنجم، وهناك مقطرات أصغر مساحة في الهند واليونان، ويعزى سبب عدم انتشار المقطرات الشمسية الى الجوانب الاقتصادية ذلك أن طرق انتاج الماء النقي في المحطات المركزية تعتبر أقل كلفة، غير أن هناك بعض الجوانب الايجابية في المقطرات الشمسية التي تتمثل في المستوى التكنولوجي البسيط وفي كونها أقل عرضة للتأثر بأعمال التخريب والعدوان الخارجي.

توليد الطاقة الكهربائية بالتحويل الحراري:

توليد الطاقة الكهربائية بالطاقة الشمسية هو أحد أهم المنجزات كما يراها الانسان العادي، اذ أنه نظرا لمرونة الطاقة الكهربائية وامكان استعمالها في مجالات وتطبيقات مختلفة فقد حظيت باهتمام واسع وزاد الاعتماد عليها بشكل كبير، ومن الصعب على أي منا تصور وضع معيشي لا تتوفر فيه الطاقة الكهربائية بشكل ميسور وكميات كافية.

ويتم توليد معظم الطاقة الكهربائية في العالم في محطات توليد الطاقة الحرارية، وتعمل معظم هذه المحطات على ما يعرف باسم دورة رانكين Rankine Cycle ، ويضم **الشكل رقم (١٤)** مخططا هيكليا لهذه الدورة، ولتشغيل هذه الدورة يجري تزويد الغلاية بالطاقة الحرارية وذلك بحرق واحد من المحروقات كالفحم أو أحد مشتقات النفط، تستخدم هذه الحرارة في تبخير أحد السوائل، ويكون عادة الماء، ورفع درجة حرارته وضغطه، ثم يدخل بخار الماء ذو الحرارة المرتفعة والضغط العالي الى التوربين الذي يأخذ بالدوران وانتاج الطاقة الميكانيكية، ويخرج البخار من التوربين وقد انخفض ضغطه وحرارته عما كان عليه عند الدخول، أي أن البخار يفقد قسما من طاقته التي تتحول الى طاقة ميكانيكية وتتخذ شكل



شكل ١٤ ـ مخطط هيكلي لدورة رانكين

دوران التوربين، ويكون التوربين متصلا بمولد كهربائي يقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية.

أما البخار ذو الضغط المنخفض والحرارة المنخفضة فيجري تكثيفه في مكثف ويتحول الى سائل مرة أخرى، ثم يضغط السائل بواسطة مضخة الى ضغط عال ويدخل الى الغلاية حيث تبدأ الدورة من جديد.

إن انتاج الطاقة الكهربائية بالتحويل الحراري للطاقة الشمسية لا يختلف عن انتاجه بالطرق التقليدية الا في كون الاشعاع الشمسي هو المصدر الحراري الذي يقوم بتزويد الدورة بمتطلباتها من الطاقة بدل استعمال الوقود، وبدل استعمال غلاية لانتاج البخار ذي الضغط العالي والحرارة المرتفعة تقوم المجمعات الشمسية بهذا الدور، وعلى ذلك فإن الفرق بين محطات الطاقة التي تعمل بالوقود والمحطات التي تعمل بالطاقة الشمسية هو أن تحل أشعة الشمس محل الوقود وتستخدم المجمّعات الشمسية بدل الغلاية.

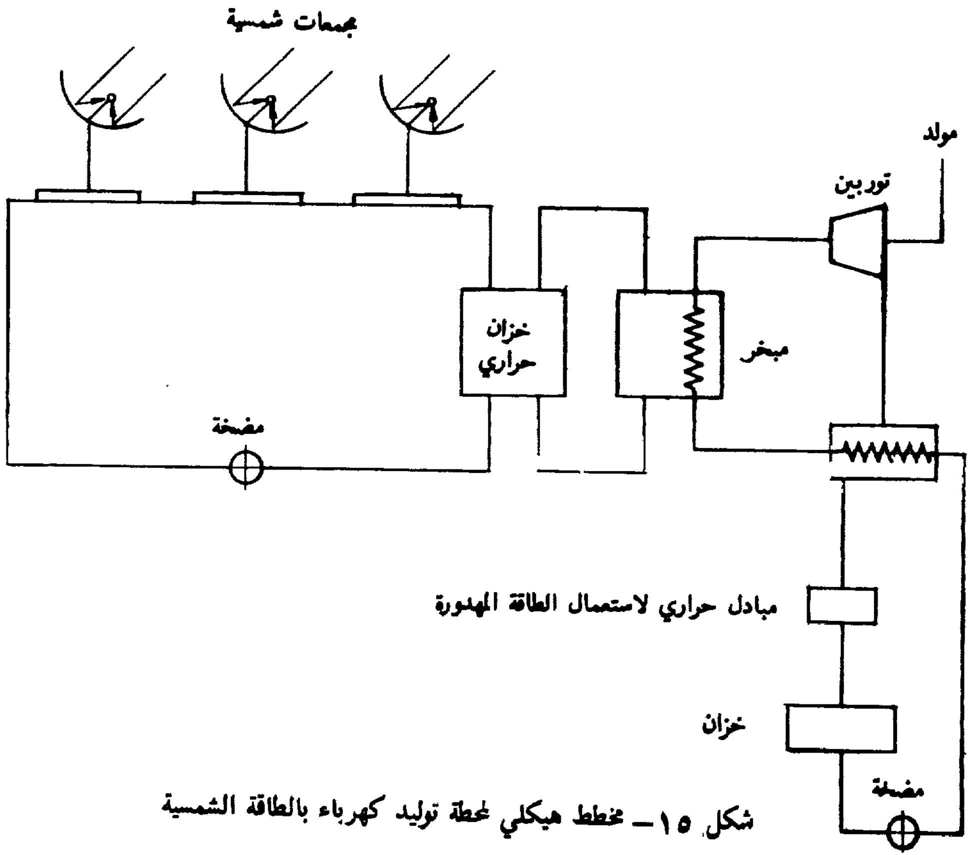
نلاحظ مما تقدم أن توليد الطاقة الكهربائية بالتحويل الحراري يتضمن ثلاث مراحل هي: مرحلة تحويل الوقود الى طاقة حرارية في الغلاية ومرحلة تحويل الطاقة الحرارية الى طاقة ميكانيكية في التوربين ومرحلة تحويل الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية في المولد الكهربائي، وفي العادة يترافق مع عملية تحويل الطاقة فقدان جزء منها الأمر الذي يؤثر على الكفاءة العامة لعملية التحويل من وقود الى طاقة كهربائية.

وتتكون محطة توليد الطاقة الكهربائية بالتخويل الحراري للطاقة الشمسية من الأجزاء التالية كما في **الشكل (١٥)** :—

١ — المجمعات الشمسية

٢ — خزان حراري.

٣ — توربين ومولد كهربائي.



شكل ١٥ — مخطط هيكلي لمحطة توليد كهرباء بالطاقة الشمسية

٤ ــ مكثــف.

٥ ــ مبــادل حــراري.

٦ ــ مضخــات وأجهــزة مرافقــة أخــرى.

المجمعات الشمسية كما ذكرنا هي مصدر تزويد المحطة بالطاقة المطلوبة وذلك من خلال تحويلها الطاقة الشمسية الى طاقة حرارية، وهناك طريقتان رئيسيتان لتجميع الطاقة الشمسية وتحويلها الى طاقة حرارية في محطات توليد الطاقة الكهربائية بالتحويل الحراري وهما:

١ ــ المستقبل المركزي: Central Receiver

يتكون نظام المستقبل المركزي من مجموعة كبيرة من المرايا والأسطح العاكسة للاشعاع الشمسي التي يتم تثبيتها بحيث تعكس الاشعاع الشمسي على نقطة مركزية واحدة في أعلى برج حديدي موجود في حقل المرايا نفسه، وفي موقع النقطة المركزية أعلى البرج توضع غلاية يمر فيها السائل المراد تسخينه ورفع درجة حرارته لاستعماله بصورة مباشرة أو غير مباشرة لتشغيل دورة انتاج الطاقة الكهربائية، فحين استعمال السائل بشكل مباشر فانه يجري تبخيره ورفع درجة حرارته وارساله الى التوربين مباشرة ومن ثم يجري تكثيفه بعد الخروج من التوربين واعادة ضخه الى الغلاية الشمسية، أما في حالة الاستعمال غير المباشر فانه تستعمل سوائل ذوات ضغوط عالية يمكنها تحمل درجات الحرارة العالية دون أن تتبخر، ويتجمع السائل الساخن في خزان حراري يحتوي على مبادل حراري يمر فيه سائل آخر يتبخر عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة السائل في الخزان، ونتيجة لانتقال الحرارة من السائل في الخزان الى السائل في المبادل الحراري يتبخر الأخير ويرتفع ضغطه ويتوجه الى التوربين لتشغيله وانتاج الطاقة الكهربائية من المولد الكهربائي.

٢ ـ المجمعات المركزة المستقلة : Dispersed Concentrators

يتكون نظام المجمعات المركزة المستقلة من مجموعة من المجمعات الشمسية المركزة ذات نسبة التركيز العالية وذلك لتركيز كمية كبيرة من الاشعاع الشمسي تكفي لرفع درجة حرارة السائل الى الدرجة المطلوبة والتي تكون عادة مرتفعة (٥٠٠ درجة مئوية أو أكثر)، إن هذا لا يعني أنه لا يمكن انتاج الكهرباء على درجات حرارة أقل من ذلك الاّ أن كفاءة توليد الطاقة الكهربائية تعتمد على درجة حرارة المصدر، وبالتالي كلما ارتفعت درجة حرارة المصدر ازدادت كفاءة المحطة، لكننا رأينا من جانب آخر أثناء حديثنا عن المجمعات الشمسية أن كفاءتها تنخفض كلما ارتفعت درجة حرارة السائل المسخن وعليه فان تشغيل محطة الطاقة بكفاءة مثلى يتطلب تحديد درجة الحرارة التي تحقق التوافق الأمثل بين كفاءة المجمعات الشمسية وكفاءة محطة الطاقة.

وترتبط المجمعات المركزة بشبكة من الأنابيب المعدنية مع الخزان الحراري الذي يتجمع فيه السائل الساخن، ويحتوي الخزان على مبادل حراري يمر فيه سائل آخر يتبخر على درجة حرارة أقل من درجة حرارة التخزين وهذا يستعمل في تشغيل التوربين وانتاج الطاقة الكهربائية.

أما باقي أجزاء المحطة فانها تتكون من الأجزاء التقليدية ذاتها المستعملة في محطات توليد الطاقة بفارق أن محطات الطاقة التقليدية غالبا ما تستعمل بخار الماء أما محطات الطاقة الشمسية فتستعمل الغازات العضوية.

إن تبخير الماء أو الغازات العضوية في المكثف بعد خروجها من التوربين تعني فقدان كمية من الطاقة ذلك أن عملية التكثيف تعني تخليص الغاز من جزء من طاقته الحرارية، وإلى الآن مازالت معظم محطات الطاقة الحرارية في العالم تقذف بكميات كبيرة من الطاقة في مياه الأنهار والبحار أو في الهواء اعتمادا على طبيعة نظام التكثيف المستعمل، الا أن أزمة شح المصادر التقليدية للطاقة قد دفعت بالعاملين في مجال الطاقة الى

العمل على استخدام هذه الطاقة المهدورة، ولذلك عادة ما تترافق محطات توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية مع تطبيقات أخرى لاستخدام الحرارة المهدورة. ومن التطبيقات الشائعة في هذا المجال استعمال الحرارة لتشغيل أنظمة التبريد الامتصاصي أو في التدفئة وتزويد المساكن بالمياه الحارة وفي تحلية المياه.

وهناك العديد من محطات توليد الطاقة الكهربائية بالتحويل الحراري للطاقة الشمسية، وتمتد هذه المناطق عبر أرجاء العالم من الولايات المتحدة الى أوروبا والشرق الأوسط واليابان، وتتراوح قوة هذه المحطات من عشرات قليلة من الكيلوواط الى عشرة آلاف كيلوواط، وبالنسبة للعالم العربي فهناك محطة صغيرة في المملكة العربية السعودية ذات قوة ٣٦ كيلوواط ومحطة أخرى في مصر، وفي الكويت يجري العمل على انشاء محطة قوتها ١٠٠ كيلوواط، ومن المتوقع الانتهاء من بنائها وتشغيلها في عام ١٩٨١.

بهذا نكون قد تطرقنا الى أهم التطبيقات الحرارية للطاقة الشمسية، وهناك تطبيقات أخرى لم نتطرق إليها مثل الأفران الشمسية والطباخات الشمسية والمضخات الشمسية، ويقينا هناك العديد من التطبيقات الحرارية الأخرى التي ستظهر مستقبلا، وليس ضروريا أن تأتي أفكار هذه التطبيقات من العلماء أنفسهم بل إن العديد منها سيأتي من القطاعات الانتاجية كالقطاع الصناعي والزراعي حيث تبرز الحاجة لحل مشكلات مصادر الطاقة فيها.

ومن الأمور التي لم نناقشها هنا مسألة تخزين الطاقة الشمسية، ذلك أن الطاقة الشمسية ظاهرة ذات طابع متعاقب بمعنى أنها تتوفر خلال أوقات محددة من النهار وتتأثر بالظواهر المناخية كالغيوم والأمطار والعواصف الترابية، ولا يقتصر الأمر على هذا بل أنها لا تتوفر بذات القوة أثناء فترة شروقها، وبالاضافة الى ذلك فليس من الضروري أن يترافق الطلب على

الطاقة مع توفر الطاقة الشمسية اذ قد يحدث أن يزداد الطلب على الطاقة أثناء الليل، كما في التدفئة مثلا، وهو الوقت الذي لا تتوفر فيه طاقة شمسية، ولذلك يتطلب استخدام الطاقة الشمسية تخزينها بالشكل الملائم واستعمالها عند الحاجة، هذا وسنتناول هذا الموضوع بالمزيد من التفصيل أثناء حديثنا عن الصعوبات التكنولوجية لمصادر الطاقة البديلة في فصل لاحق.

التحويل المباشر للطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية:

يرتبط تحويل الطاقة الشمسية مباشرة الى طاقة كهربائية بالخلايا الشمسية المصنوعة غالبا من مادة السيليكون، والسبب في ذلك أن هذه الطريقة هي الأكثر شيوعا واستعمالا وتتركز حولها الكثير من الجهود لتطويرها، ومعقود عليها أمل كبير في أن تقدم اسهاما كبيرا في استخدام الطاقة الشمسية بشكل فعال لانتاج الطاقة الكهربائية التي تتمتع بمرونة عالية من ناحية امكان استخدامها في جميع المجالات التي تتطلب طاقة، الاّ أن الخلايا الشمسية ليست هي الطريقة الوحيدة لتحويل الشمس الى كهرباء دونما الحاجة الى استعمال الأجهزة الوسيطة كالآلات الحرارية مثلا، فهناك طريقة المزدوجات الحرارية أو ما تعرف بالطاقة الكهروحرارية حيث يؤدي ارتفاع درجة حرارة نقطة اتصال معدنين مختلفين الى سريان تيار كهربائي، وأغلب التطبيقات الشائعة لهذه الطريقة هي قياس درجة الحرارة بواسطة المزدوجات الحرارية نفسها حيث يتغير الجهد الكهربائي على طرفي المعدنين بتغير درجة حرارة نقطة الاتصال.

أما الطريقة الأخرى فهي ما يعرف بالطريقة الأيونية الحرارية والتي هي ظاهرة سريان الالكترونات من سطح مادة موجودة في صندوق مفرغ من الهواء حيث تتحرر الالكترونات بتأثير الطاقة المكتسبة على سطح المادة، وبشكل عام فان تحرير الالكترون من الذرة يحتاج الى أن يكتسب طاقة

تزيد عن الطاقة التي تربطه بالذرة التي يدور في أحد مداراتها.

يعرف تأثير الطاقة الشمسية الذي ينتج عنه توليد الطاقة الكهربائية بالتأثير الكهروضوئي، وهناك نوعان من التأثير الكهروضوئي (١١).

١ ـ **التأثير الكهروضوئي الخارجي**: وهو الذي يلاحظ بشكل أساسي في حالة المواد الموجودة داخل فراغ والتي تمتاز بأنها لا تسمح لفوتونات ضوء الشمس بالنفاذ مسافة كبيرة داخلها (المسافة هنا تعني بالنسبة الى حجم الذرة)، ونتيجة لمعارضة المادة لنفاذ الفوتونات الى الداخل فان تأثيرها يقتصر على السطح أساسا، واذا حدث أن كانت طاقة الفوتون أقوى من طاقة ربط الالكترون بالذرة فان هذا يؤدي الى تحريره وانطلاق الالكترون، بالطبع قد يحصل أن تتغلغل بعض الفوتونات الى الداخل غير أن الالكترونات لا تتمكن من التحرك الى السطح والتحرر الى الخارج، وعلينا ملاحظة أن المادة في هذه الحالة تمتلك قطبا واحدا ذلك أن الالكترونات تتحرر من السطح فقط، وعليه فان هذه المادة لا تخلق مجالا ذاتيا يمكنه توليد جهد كهربائي وبالتالي سريان تيار كهربائي للاستعمال.

٢ ـ **التأثير الكهروضوئي الداخلي**: وهو الذي يلاحظ في حالة الخلايا الشمسية. وهنا تتمكن الفوتونات من التغلغل الى الداخل وتحرير الالكترونات التي يتحرر بعض منها على السطح، وبالتالي فان الالكترونات المحررة داخليا تتحرك في داخل المادة بين الذرات وتترك في مكانها فجوات، تحمل الالكترونات بالطبع الشحنة السالبة أما الفجوات فانها تعامل على أساس أنها تحمل الشحنة الموجبة، ويحصل في أثناء حركة الالكترونات أن تلتحم مرة أخرى مع الفجوات بمعنى أنها تنتقل داخل شبكة بلورات المادة نفسها، وتخلق حاملات الشحنة السالبة وحاملات

---

١١ ـ Meinel and Meinel, OP. Cit, P. 526-532.

الشحنة الموجبة قطبين بينها جهد كهربائي، الا أن اعادة ملء الالكترونات للفجوات يعيد المادة الى سابق عهدها، وتنتشر هذه الظاهرة في المواد المعروفة بأشباه الموصلات التي سنتطرق إليها لاحقا، وقبل ذلك سنشير الى مزايا توليد الكهرباء مباشرة بالخلايا الشمسية على غيرها من الطرق.

مزايا التحويل المباشر:ـ

في التحويل المباشر للطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية تقوم الخلايا الشمسية بانتاج الكهرباء دونما حاجة الى أجهزة وسطية ودونما حاجة للدخول في عمليات تحويل الطاقة من نوع الى آخر، أي تحويل طاقة فوتونات ضوء الشمس الى طاقة كهربائية، والتيار الكهربائي الناتج من عملية التحويل هذه هو تيار مباشر كالتيار الذي تولده البطاريات الجافة وليس بتيار متردد كالتيار الناتج من مولدات الكهرباء في محطات الطاقة، غير أن هذا لا يشكل عقبة تذكر ذلك أن هناك أجهزة تقوم بتحويل التيار المباشر الى تيار متردد واستخدامه في التطبيقات المختلفة.

يعتبر غياب الأجهزة الوسيطة كالمكائن الحرارية وغياب الدخول في عمليات تحويل الطاقة من نوع الى آخر من مزايا التحويل المباشر للطاقة الشمسية لانتاج الطاقة الكهربائية على التحويل الحراري، وبالاضافة الى ذلك فان الكفاءة القصوى للخلايا الشمسية في توليد الطاقة الكهربائية تماثل كفاءة محطات الطاقة الحرارية المستخدمة لذات الغرض، فالخلايا الشمسية الشائعة الاستعمال تعمل بكفاءة تبلغ حوالي ١٠ــ١٢٪، وهناك بعض التجارب التي تشير الى امكان رفعها الى ١٥٪ واذا ما تم نجاح فكرة تركيز الضوء على الخلايا الشمسية باستعمال المرايا والأسطح العاكسة فقد ترتفع هذه النسبة الى أكثر من ذلك، أما الكفاءة القصوى المتوقعة فهي في حدود ٢٥٪ وهي ما تعادل كفاءة محطات توليد الطاقة الكهربائية تقريبا.

تمتاز الخلايا الشمسية أيضا في أن انتاجها من الطاقة الكهربائية

يتناسب طرديا مع الاشعاع الشمسي الساقط عليها، ومع تغير شدة الاشعاع تتغير الطاقة الناتجة، لكن المعلوم أن مقدار الطاقة الكهربائية يتحدد بقوة التيار الكهربائي ومقدار الجهد الكهربائي، وفي حالة الخلايا الشمسية فان تغير الاشعاع الشمسي يؤدي الى تغير في شدة التيار فقط دون أي تغير في الجهد الكهربائي.

وبالاضافة الى ما تقدم فان استجابة الخلايا الشمسية للاشعاع الشمسي فورية في طابعها، بمعنى أن الطاقة الكهربائية تنتج في حال سقوط الاشعاع الشمسي على الخلية، ولا تحتاج الخلية الى وقت يذكر كي تستجيب للاشعاع. وهذه الخاصة في الخلايا الشمسية تعتبر ميزة تميزها عن الطرق الأخرى المتبعة في توليد الطاقة الكهربائية من الشمس. فمثلا يحتاج تسخين السوائل الى درجة الحرارة المطلوبة الى وقت يطول أو يقصر اعتمادا على قوة الاشعاع الشمسي وكمية السائل ودرجة حرارته قبل دخول المجمع الشمسي الحراري، وحتى في طرق انتاج الكهرباء بطرق المزدوجات الحرارية والأيونية الحرارية فان سريان التيار يحتاج الى وقت حتى ترتفع فيه درجة حرارة المادة الى الدرجة المطلوبة.

المــواد شبــه المــوصلة Semi - Conductors (١٢)

المعلوم أن هناك مواد موصلة للتيار الكهربائي وأخرى عازلة، فالنحاس موصل جيد ومنه تصنع الأسلاك الكهربائية بينما الخشب موصل رديء جداً أو عازل بمعنى أنه لا ينقل التيار الكهربائي، غير أن هناك مواد تقع بين المواد شديدة التوصيل والمواد العازلة، وتعرف هذه المواد باسم أشباه الموصلات، والمقصود بذلك أن هذه المواد تصبح موصلة للتيار في ظروف معينة وعازلة في ظروف أخرى. والمواد شبه الموصلة بنية بلورية الأمر الذي يعني أن ذراتها يرتبط بعضها ببعض بالالكترونات الموجودة في المدار

(١٢) قبيسي، د. حافظ، المرجع السابق، ص١٠٨ ــ ١٠٩

الخارجي، وهي المعروفة بألكترونات التكافؤ . وعند درجات الحرارة المنخفضة القريبة من الصفر المطلق (-٢٧٣ درجة مئوية) يكون التركيب البلوريّ في حالة توازن ولا توجد تبعا لذلك الكترونات حرة، وحيث إن خاصية التوصيل الكهربائي ناتجة عن وجود الكترونات حرة يحركها المجال الكهربائي فان غياب حركة هذه الالكترونات يعني غياب خاصة التوصيل الكهربائي. ولذلك فحين لا توجد الكترونات حرة في المواد شبه الموصلة عند درجة الصفر المطلق فانها تصبح مواد عازلة، أما عند درجات الحرارة العادية أو عند توفر اشعاع ضوئي فانه يصبح من الممكن تحرير الالكترونات من البنية البلورية أو الشبكية وينتج عن ذلك حدوث فجوات في أماكن الالكترونات المحررة، والالكترون كما هو معلوم يحمل الشحنة السالبة وتبعا لذلك يرمز للفجوة على أنها تحمل شحنة موجبة، وطالما استمرت عملية تحرير الالكترونات فان باستطاعة المادة توصيل التيـــار.

وكما ذكرنا فان الالكترون المحرر يترك خلفه فجوة مؤهلة لقبول الالكترون نفسه أو أي الكترون آخر، وحين يعود الالكترون لملء الفجوة مرة أخرى فان خاصية التوصيل تختفي ذلك أنه لا يوجد عندها الكترونات حرة، وفي المواد شبه الموصلة ذات التركيب البلوري النقي الذي لا توجد به شوائب من مواد أخرى يكون عدد الالكترونات مساويا لعدد الفجوات وتتكرر بالتالي عملية اتحاد الالكترونات بالفجوات مما يعطي المادة خصائص توصيلية رديئة.

وإذا حدث أن دخلت شائبة الى التركيب البلوري للمادة شبه الموصلة وكان تكافؤها أعلى من تكافؤ المادة شبه الموصلة نفسها فان هذا يؤدي الى وجود الكترونات فائضة وحرة مما يعطي المادة خصائص توصيلية مرتفعة، فالسيليكون مثلا له أربعة الكترونات في المدار الخارجيَ وتشكل ذراته بعضها مع بعض شبكة بلورية، فاذا دخل الفسفور الذي له خمس الكترونات في المدار الخارجي واتحد مع السيليكون فان المادة الناتجة تحتوي

علـى الكترون اضافي حر الحركة، أما اذا دخل البورون الذي يحتوي على ثلاثة ألكترونات في المدار الخارجي فان المادة الناتجة تحتوي على فجوة وتحمل تبعا لذلك شحنة موجبة، واذا جمعت المادة السالبة والمادة الموجبة في بلورة واحدة فان منطقة الاتصال بينهما حيث يحصل الانتقال من المادة السالبة الشحنة الى المادة الموجبة الشحنة تعرف بنقاط الاتصال، وفي التطبيق العملي تتم صناعة نقاط الاتصال بطرق الانتشار أو الزرع الأيوني، ويستفاد من نقاط الاتصال هذه في صنع الخلايا الشمسية.

الخليـــة الشمسيـــة: Solar Cell (١٣)

الخلية الشمسية إذن هي تلك المادة البلورية التي تتم زراعة الشوائب فيها لتكوين مواد ذات شحنة موجبة وأخرى ذات شحنة سالبة ويفصل بينهما أو يلتقيـــان عند نقاط اتصال، وينتج التأثير الفوتوفولطي حين تقوم الأشعة الممتصة بتأيين الذرات في منطقة قريبة من الموصل أي بتحرير الكترونات. فاذا كانت طاقة الاشعاع الممتصة أكبر من طاقة ربط الالكترون بالذرة فان ذلك يؤدي الى تحرير الالكترونات وتكوين أزواج من الالكترونات ـــ الفجوات، ويؤدي هذا بدوره الى احداث قوة حركة كهربائية يمكنها احداث سريان تيار كهربائي، وتصبح الالكترونات المحررة في المنطقة ذات الشحنة السالبة بينما تصبح الفجوات في المنطقة ذات الشحنة الموجبة، وبذلك يتولد فرق جهد كهربائي ويسير التيار الكهربائي في دائرة خارجية اذا تم ربط طرفي المنطقتين بسلك موصل.

تعتمد طاقة فوتونات ضوء الشمس على طول الموجة الضوئية، فالفوتونات التي تكون طاقتها أكبر من طاقة ربط الالكترون بالذرة تحدث التأثير الفوتوفولطي، أما الفوتونات التي تكون طاقتها أقل من ذلك فانها تمتص

---

(١٣) Godfrey, D.L., **Photovoltaic Power Generation** Van Nostrand Reinhold Co., London, U.K., 1979, PP. 66-70

وتولد الحرارة فقط دون توليد التأثير الفوتوفولطي أو الجهد الكهربائي، وحتى بالنسبة للفوتونات ذات الطاقة الكبيرة فان جزءا من طاقتها هو ما يستخدم في توليد التأثير الفوتوفولطي بينما يؤدي جزء آخر الى توليد الحرارة.

تصنع الخلايا الشمسية من مواد مختلفة كالسيليكون وزرنيخ الجاليوم وكبريتيد الكادميوم، واضافة الى اختلاف المواد فان هناك طرقا عديدة لصناعة الخلية الشمسية من نفس المادة وتؤثر هذه العوامل سواء كانت اختلاف المواد أو اختلاف طرق التصنيع في كفاءة الخلية الشمسية، أي في كفاءة تحويلها طاقة الاشعاع الشمسي الى كهرباء، فالخلايا المصنوعة من السيليكون إما أن تصنع من رقاقات ولها كفاءة تتراوح ما بين ١٢ــ١٨٪، وإما بطريقة تعرف بالغشاء الرقيق وتتراوح كفاءتها ما بين ٢ــ٥٪، أما الخلايا الشمسية المصنوعة من زرنيخ الجاليوم والتي مازالت في طور التجارب فان كفاءتها تبلغ ١٦ــ٢٠٪، وأما خلايا كبريتيد الكادميوم فتبلغ كفاءتها ٥-٨٪(١٤). ولرفع كفاءة الخلايا الشمسية تجرى التجارب على استعمال المجمعات الشمسية المركزة لتقوم بتركيز المزيد من الاشعاع الشمسي على الخلية وزيادة انتاجها من الطاقة الكهربائية، غير أن هذا الاسلوب يصطدم بالتأثير السلبي على الكفاءة لارتفاع درجة حرارة الخلية، ولذلك يجرى التفكير في تبريد الخلايا الشمسية والاستفادة من المفعول الحراري بحيث تتحول الخلية الى مجمع شمسي كهربائي ــ حراري تنتج الطاقة الكهربائية والطاقة الحرارية في آن واحد.

العوامل المؤثرة في كفاءة الخلية الشمسية (١٥) :ــ

كما في المكائن الحرارية كذلك في الخلايا الشمسية هناك عوامل تؤثر في كفاءة انتاج الطاقة الكهربائية، ففي المكائن الحرارية تلعب درجة

(١٤) Meinel and Meinel, Op. cit., P. 528
(١٥) Kreith and Kreider, op. cit. P. 567

حرارة التبخير والتكثيف دورا أساسيا في تحديد الكفاءة النظرية لتوليد الطاقة الكهربائية، اضافة بالطبع الى كفاءة الأجهزة الوسيطة المستعملة، أما في الخلايا الشمسية فالكفاءة ليست محكومة بالعوامل التي تحد من كفاءة المكائن الحرارية، الاّ أن هناك اعتبارات أخرى تحد من كفاءة الخلايا الشمسية بحيث إنها لا تزيد عن ٢٥٪، وتعرّف كفاءة الخلية الشمسية على أنها :

$$\text{كفاءة الخلية الشمسية} = \frac{\text{القيمة القصوى لحاصل ضرب التيار بالجهد الكهربائي}}{\text{مساحة السطح} \times \text{شدة الاشعاع الشمسي}}$$

أما العوامل المؤثرة على كفاءة الخلية الشمسية فهي:ـ

١ ـ العلاقة بين طاقة فوتونات ضوء الشمس وطاقة ربط الالكترون بالذرة. قد ذكرنا أن تلك الفوتونات التي تكون طاقتها أكبر من طاقة ربط الالكترون هي التي تنتج التأثير الفوتوفولطي، وتختلف طاقة الربط من مادة الى أخرى لكنها تتراوح في معظم المواد المستعملة لصناعة الخلايا الشمسية بين ١,١ـ٢,٣ الكترون فولت، ففي السيليكون مثلا تساوي طاقة الربط ١,١ الكترون فولت وبالتالي فان الفوتونات التي تكون طاقتها ١,١ الكترون فولت أو أكبر هي التي تستفيد منها الخلية السيليكونية، وبالنظر الى الطيف الشمسي نجد أن ذلك الجزء من الطيف الذي تبلغ طول موجاته ١,١٢ ميكرون أو أقل يؤدي نظريا الى توليد التأثير الفوتوفولطي في خلايا السيليكون، ويحتوي ذلك الجزء من الطيف الشمسي على ٧٧٪ من طاقة الطيف بأكمله، وعلى ذلك فان هناك ٢٣٪ من طاقة الطيف الشمسي لا تستفيد منها الخلية الشمسية المصنوعة من السيليكون.

٢ — تحول طاقة الفوتونات الممتصة الى حرارة: إن الفوتونات التي طاقتها أكبر من طاقة ربط الالكترون (طاقة التكافؤ) تمتص على أعماق مختلفة داخل الخلية، ويؤدي هذا الى أن قسما من الالكترونات المحررة تتحرر من منطقة بعيدة عن نقاط الاتصال ولا تستطيع الوصول اليها وبذا تضيع طاقتها الحركية على شكل حرارة، بالاضافة الى ذلك فان ذلك الجزء من طاقة الفوتون التي تزيد عن طاقة الربط يكتسبها الالكترون بشكل طاقة حركية لكنه لا يلبث أن يفقدها بشكل حرارة ذلك أنها طاقة زائدة عن حاجته للتحرر، وفي خلايا السيليكون تبلغ الطاقة المفقودة بشكل حرارة ما يعادل ٤٣٪ من كمية الطاقة الممتصة أو ٣٣٪ من مجمل طاقة الطيف الشمسي.

٣ — تسرب جزء من التيار الكهربائي خلال نقاط الاتصال. وتعتمد قيمة التيار المتسرب على درجة حرارة الخلية، وبالتالي حرارة نقاط الاتصال، فكلما ارتفعت درجة الحرارة هذه ازدادت كمية التيار المتسرب، ومن هنا تأتي أهمية تبريد الخلايا الشمسية، فالكفاءة النظرية لخلايا السيليكون تصل الى صفر حين ترتفع حرارتها الى ٣٠٠ درجة مئوية، لكن في التطبيقات العملية وتحت تأثير الاشعاع الشمسي والظروف المناخية المحيطة فان خسارة نقاط الاتصال تصل الى ٣٨٪ من الجزء المتبقي بعد طرح قيمة الاشعاع غير الممتص والطاقة المتحولة الى حرارة، وبالنسبة الى كل طاقة الطيف الشمسي تبلغ خسارة نقاط الاتصال حوالي ١٧,٥٪، مما يترك حوالي ٢٦,٥٪ من طاقة الطيف الشمسي في الخلية بشكل طاقة كهربائية.

٤ — مصادر خسارة أخرى تتمثل بعكس الخلية لجزء من الاشعاع الشمسي، والخسارة الناتجة عن اعادة اتحاد بعض الالكترونات المحررة بالفجوات اضافة الى الخسارة في المقاومات الكهربائية في الخلية،

وتشكل هذه المصادر جميعا حوالي ١٢٪ من مجمل الطيف الشمسي الأمر الذي يؤدي الى أن تصل كفاءة الخلايا السيليكونية في تحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية الى حوالي ١٤٪ فقط.

هناك بالطبع مصادر أخرى لفقدان الطاقة لكنها توجد في الأجهزة الخارجية المربوطة بالخلايا كأجهزة تحويل التيار الثابت الى تيار متردد أو كفاءة خزن الطاقة الكهربائية في البطاريات ناهيك عن كفاءة الأجهزة الكهربائية في نقطة الاستعمال النهائي، فلو فرضنا أن كفاءة تحويل الطاقة الشمسية الى تيار متردد على الجهد الكهربائي المطلوب تبلغ ١٠٪ وأن هذا التيار يستعمل لتشغيل موتور كهربائي كفاءته ٧٠٪ فان الكفاءة النهائية من نقطة التحويل (الخلية الشمسية) الى نقطة التسليم (المفعول المطلوب احداثه) تبلغ في الواقع ٧٪ فقط.

تطبيقات التحويل المباشر:ـ

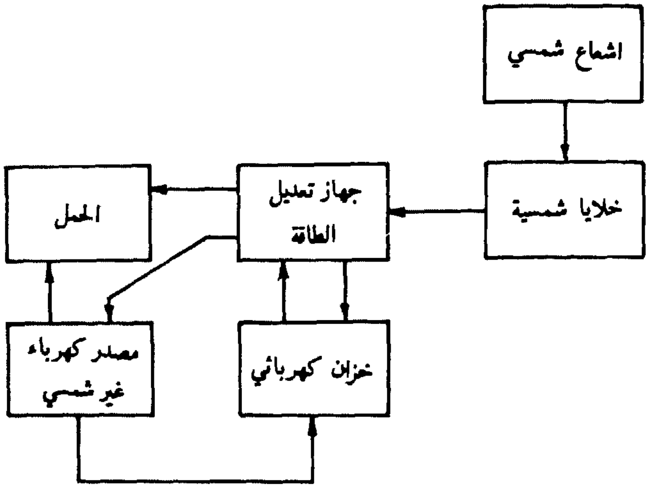
الطاقة الكهربائية هي أكثر أنواع الطاقة مرونة اذ يمكن تحويلها الى الأنواع الأخرى من الطاقة بسهولة كما يمكن استخدامها في تلبية معظم احتياجات البشر من الطاقة، فالطاقة الكهربائية تتحول الى ضوء وحرارة في المصابيح الكهربائية، وتتحول الى طاقة حرارية في السخانات الكهربائيه، والى طاقة حركية في الموتورات الكهربائية، كذلك فان نقل الطاقة الكهربائية لا يحتاج الا الى اسلاك يمكن بواسطتها ايصال التيار الكهربائي الى أية نقطة كانت، بل إنها في بعض الحالات، لا تحتاج حتى للأسلاك اذ يمكن نقلها في الفضاء بواسطة أجهزة الميكرو يف.

وتعتمد الاستعمالات الشائعة للطاقة الكهربائية على التيار المباشر (الطردي) أو التيار المتردد، وتقوم الخلايا الشمسية بتوليد التيار المباشر، غير أن ذلك لا يشكل أية عقبة تذكر ذلك أن بالامكان تحويل التيار المباشر الى تيار متردد باستعمال أجهزة التحويل الملائمة والمتوفرة تجاريـا.

لكن نظرا لخصائص الاشعاع الشمسي المتمثلة في تركزه خلال ساعات محددة أثناء النهار، ونظرا لتغير شدة الاشعاع الشمسي أثناء ساعات النهار فان استعمال الخلايا الشمسية لتزويد الأجهزة بمتطلباتها من الطاقة يقتضي استعمال وسائل خزن ملائمة لتخزين كمية الطاقة الزائدة عن الحاجة أثناء توفر الاشعاع الشمسي واستعمالها من بعد في الأوقات التي لا يتوفر فيها الاشعاع، لذلك فان أنظمة الطاقة التي تعتمد على الخلايا الشمسية تضم الى جانب الخلايا نفسها أجهزة لتخزين الطاقة.

وتختلف أجهزة تخزين الطاقة حسب طبيعة الاستعمال المطلوب والخصائص الفيزيقية لمنطقة الاستعمال، ففي التطبيقات التي تحتاج الى مقدار قليل من الطاقة كتلك المستعملة لتشغيل أجهزة الاتصال وأنوار الارشاد والتحذير كما في المطارات والموانىء أو محطات ضخ المياه الصغيرة الحجم نسبيا فان استعمال البطاريات هو الأمر الشائع ويفي بالغرض المطلوب، أما إذا كانت مساحة الخلايا الشمسية كبيرة جدا فان خزن الطاقة الزائدة في بطاريات يصبح مكلفا وغير عملي ويجب في هذه الحالة اللجوء الى أنظمة تخزين أخرى، ومن بين أجهزة التخزين المقترحة ضخ المياه الى خزانات عالية لاستعمال المياه بعد ذلك في تشغيل توربينات لانتاج الكهرباء كما في محطات التوليد الكهرومائية التي تقام عند السدود على الأنهار، واذا تعذر مثل هذا الأمر فبالامكان استخدام الطاقة الكهربائية من الخلايا في عمليات التحليل الكهربائي لفصل الماء الى أوكسجين وهيدروجين لاستخدام الهيدروجين بعد ذلك لتوليد الطاقة الكهربائية، كذلك بالامكان تشغيل ضاغطات الهواء وخزن الهواء في خزانات كبيرة فوق الأرض أو تحتها واستعمال الهواء المضغوط بعد ذلك في تشغيل أحد التوربينات لانتاج الطاقة الكهربائية أو حتى استعماله مباشرة لتشغيل بعض الأجهزة والآلات.

نقدم في الشكل رقم (١٦) مخططا هيكليا لنظام طاقة يستخدم



شكل ١٦ ــ مخطط هيكلي لدائرة كهربائة للتحويل المباشر للأشعة الشمسية الى طاقة كهربائية

البطاريات لخزن الطاقة الكهربائية، وفي مثل هذه الأنظمة تبرز الحاجة الى استعمال أجهزة تحويل التيار المباشر الى تيار متردد اذا كان الاستعمال المطلوب يحتاج الى تيار متردد، وتتم عملية تحويل التيار باستعمال المحولات أو القالبات (Inverters)، وفي العادة تحتوي أنظمة الطاقة على مصدر اضافي للطاقة الكهربائية لضمان تزويد الطاقة المطلوبة في حالة عجز الخلايا الشمسية وأجهزة الخزن عن تلبية المتطلبات لسبب أو لآخر.

مازالت استعمالات الخلايا الشمسية محدودة في تلك التطبيقات التي تبرر تكلفتها المرتفعة، ولذلك فمازالت معظم الاستعمالات مقتصرة على المناطق البعيدة والمعزولة التي يتطلب ايصال التيار الكهربائي إليها مصاريف عالية (تكاليف أسلاك وكابلات كهربائية، مولدات كهربائية، نقل الوقود، صيانة) بحيث يصبح استعمال الخلايا الشمسية مبررا من

الناحية الاقتصادية، والواقع أنه ما كان لتكنولوجيا الخلايا الشمسية أن تصل الى المرحلة الحالية من التطور لو أنها خضعت للاعتبارات الاقتصادية منذ البداية، فقد كان لدخول الانسان عصر الفضاء أثر كبير في تطوير الخلايا الشمسية واستعمالها دون النظر الى تكلفتها الاقتصادية، ذلك أن تطويرها واستعمالها خضع لاعتبارات استراتيجية وعسكرية في كل من الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي.

وبالاضافة الى استعمال الخلايا الشمسية في تشغيل أجهزة الاتصالات في المناطق البعيدة وتزويد الطاقة الكهربائية لبعض القرى المعزولة فان هناك بعض التطبيقات العملية لتزويد الطاقة الكهربائية للمجمعات السكنية والورش. وتصل قوة الطاقة المولدة في بعض هذه المشاريع الى ١٠٠ كيلوواط أو أكثر.

وبالنسبة للدول العربية فمازال استعمال الخلايا الشمسية مقتصرا بشكل أساسي على مراكز البحث العلمي التي تقوم بتجارب على دراسة كفاءة الخلايا وامكانية استعمالها، وأكبر مشروع لاستعمال الخلايا الشمسية في العالم العربي هو في الواقع في مرحلة الانشاء في المملكة العربية السعودية، حيث سيتم تزويد قرية بكامل متطلباتها من الطاقة باستعمال الخلايا الشمسية وغيرها، وستبلغ القدرة النهائية للخلايا الشمسية عند اكتمال المشروع ٣٥٠ كيلوواط و ينتظر أن ترتفع مستقبلا الى ١٠٠٠ كيلوواط.

بهذا نكون قد انتهينا من الفصل الخاص بالطاقة الشمسية وتحويلها الحراري والكهربائي، غير أن مظاهر الطاقة الشمسية لا تتوقف عند هذا الحد بل إنها توجد في الطبيعة بشكل الطاقة الموجودة في حركة الرياح والطاقة الناتجة عن فروق درجات الحرارة في البحار والمحيطات، والأهم من ذلك طاقة التمثيل الضوئي في عالم النباتات الخضراء على الكرة الأرضية، كل هذه التجسدات هي مصادر محتملة للطاقة استعمل الانسان معظمها في الماضي ومازال يستعمل بعضها الى يومنا هذا.

ملحق

حساب الزوايا الشمسية

لحساب زاوية الزمن تستعمل العلاقة الآتية:

ز = (ق ش-١٢) × ١٥

حيث ق ش تعني الوقت الشمسي، فمثلا اذا كان الوقت الشمسي التاسعة صباحاً فان زاوية الزمن تساوي ٤٥ درجة واذا كان السادسة عشرة (الرابعة بعد الظهر) فان زاوية الزمن تساوي ٦٠ درجة، وبالمناسبة فان اشارة السالب أو الموجب قبل قيمة الزاوية ليست ذات اعتبار لأن ما يهمنا هو جيب تمام الزاوية الذي لا يتأثر بالاشارة التي تسبق قيمة الزاوية.

بهذا تكون الزوايا الأساسية الثلاث، زاوية خط العرض وزاوية ميل الشمس وزاوية الزمن، قد توضحت وأصبح بالامكان حسابها واستخدامها في بعض التطبيقات العملية.

تطبيقات عملية:

الآن، وقد عرفنا كيف نجد قيم الزوايا المختلفة فاننا سنقدم بعض التطبيقات العملية التي بامكان القارىء أن يجريها بنفسه، والتي نأمل أيضاً أن تشكل دليلا لمن يرغب في معرفة المزيد.

١ ـ حساب وقت شروق الشمس وغروبها:

سنعود مرة أخرى الى معادلة زاوية ارتفاع الشمس والتي تتخذ الشكل التالي:

جا(ر) = جتا(ع) جتا(م) جتا(ز) + جا(ع) جا(م)

حين تشرق الشمس وحين تغرب تكون زاوية ارتفاع الشمس تساوي صفراً. وكما هو معلوم فان جيب الزاوية صفر يساوي صفراً. وبهذا تتخذ المعادلة السابقة الشكل التالي:

صفر = جتا(ع) جتا(م) جتا(ز) + جا(ع) جا(م)

واذا وضعنا العلاقة بشكل آخر فانها تصبح:

جتا(ز) =ــ ظا(ع) ظا(م)

فاذا أردنا معرفة وقت شروق وغروب الشمس في أي منطقة في أي يوم من أيام السنة فما علينا سوى أن نجد ظل زاوية خط العرض وظل

زاو ية ميل الشمس في اليوم المذكور لنستخرج منهما قيمة زاو ية الزمن ونحولها بعد ذلك الى ما يقابلها من الساعات.

مثال: احسب وقت الشروق والغروب في ١ آب في نقطة تقع على خط عرض ٤٠ شمال خط الاستواء.

زاو ية ميل الشمس في ١ آب تساوي ١٨,١٢°

جتا(ز) = -ظا(٤٠) ظا(١٨,١٢)
= -(٠,٨٣٩) (٠,٣٢٩)
= -٠,٢٧٦
ز = ١٠٦ درجة

وبتحو يل قيمة الزاو ية الى ساعات بواسطة تقسيمها على ١٥، نجد أن ز تساوي ٧ ساعات و٤ دقائق.

وقت الشروق = ١٢ - ٤ : ٧
= ٥٦ : ٤

أي أن وقت الشروق هو الرابعة والدقيقة السادسة والخمسون صباحاً، أما الغروب فهو في السابعة و٤ دقائق مساء.

٢ ـ حساب طول اليوم

إن حساب طول اليوم بسيط اذ أن طول اليوم هو المسافة الزمنية بين شروق الشمس وغروبها، وما دامت قد تمت معرفة وقت الشروق والغروب فالمطلوب هو طرح قيمة وقت الغروب من وقت الشروق، وبطريقة أخرى فان طول اليوم يساوي ضعف قيمة زاو ية الزمن حين الشروق أو الغروب ففي المثال السابق يبلغ طول اليوم ١٤ ساعة و٨ دقائق.

نلاحظ مما تقدم أن طول الوقت من وقت الشروق الى الظهر يساوي طول الوقت من الظهر الى الغروب، وهذا يعني أن حركة الشمس على طرفي خط الظهر تكون متماثلة. و ينطبق ذات الأمر على كمية الاشعاع الشمسي التي يتلقاها سطح ما على سطح الأرض و ينطبق أيضاً على زوايا ارتفاع الشمس والسمت الشمسي، إن هذا التماثل في حركة الشمس حول خط الظهر ذو أهمية خاصة في الحسابات الخاصة بالطاقة الشمسية فهو يسهل من هذه الحسابات و يقربها من الادراك.

٣ ـ حساب زوايا ارتفاع الشمس والسمت الشمسي:

إن تطبيق المعادلات الخاصة بزوايا ارتفاع الشمس والسمت الشمسي تعطي وصفاً لموقع الشمس في السماء بالنسبة لمشاهد يقف في نقطة ما على سطح الأرض، وهناك الكثير من النتائج التي يمكن استخلاصها من

معرفة موقع الشمس بالنسبة للأرض اذ أنها تمكننا من تقدير كمية الاشعاع الشمسي الساقطة على الأسطح الأفقية والعمودية والمائلة ذات الاتجاهات المختلفة، كما أنها تمكننا من معرفة زوايا سقوط أشعة الشمس على مختلف الواجهات. وبشكل خاص يستطيع المعماريون من خلال معرفتهم بهذه الزوايا أن يتحكموا في تثبيت أماكن النوافذ في الواجهات المختلفة واستعمال وسائل التظليل الملائمة بحيث يتمكنون من التحكم في دخول أو حجب أشعة الشمس عن مناطق معينة في البنايات، وتعتبر هذه المعرفة من الأمور الأساسية فيما يعرف بالتصاميم السلبية للمباني حيث يتم التحكم في دخول أو حجب أشعة الشمس عن داخل المبنى بواسطة التصميم المعماري، الأمر الذي يؤثر على الاستجابة الحرارية للمباني للتغيرات المناخية المحيطة بها، فمثلا من الأفضل السماح لأشعة الشمس بالنفاذ الى داخل البنايات في فصل الشتاء حين يكون الجو بارداً وذلك لتدفئتها أما في فصل الصيف فمن الأفضل حجب الأشعة وذلك لتقليل الحمل التبريدي للبناية.

مثال: احسب زاوية ارتفاع الشمس وزاوية السمت الشمسي الساعة العاشرة صباحاً حسب التوقيت الشمسي في ٢١ آذار في مدينة الكويت الواقعة على خط عرض ٣٠ درجة شمال خط الاستواء.

من المعلومات الواردة في السؤال نجد أن مقادير الزوايا الأساسية الثلاث هي كما يلي:ـ

زاوية خط العرض = ٣٠ درجة

زاوية ميل الشمس = صفر درجة

زاوية الزمن = ٣٠ درجة

جا (ر) = جتا(٣٠)جتا(٣٠) + جا(٣٠)جا(صفر)

= ٠,٨٦٦ × ١ × ٠,٨٦٦ + ٠,٥ × صفر

= ٠,٧٥

ر = ٤٨,٦ درجة وهي قيمة زاوية ارتفاع الشمس

أما زاوية السمت الشمسي فتحسب حسب المعادلة التالية:

جا(س) = جتا(م) جا(ز)+ جتا(ر)

= جتا(صفر) جا(٣٠)+ جتا(٤٨,٦)

= ١ × ١/٢ + ,٦٦

= ٠,٧٥٧

س = ٤٩,٢ درجة شرق خط الشمال ـ الجنوب المار في مدينة الكويت.

٤ ـ رسم الخرائط الشمسية:

إن بالامكان استخدام الزوايا الشمسية لعمل خرائط شمسية تقدم وصفاً لطبيعة حركة الشمس بالنسبة الى أي نقطة على سطح الأرض، فبدل القيام بعمليات حسابية لايجاد موقع الشمس بالنسبة الى نقطة على سطح الأرض فان الخرائط الشمسة تسهل من هذه المهمة وتقدم صورة عن حركة الشمس النسبية طوال العام، كذلك فان بالامكان استخدام هذه الخرائط لحساب زاو ية سقوط أشعة الشمس على الأسطح الأفقية والعمودية لأي بناية طوال النهار وهو الأمر الذي يسهل للمعماري ادخال الوسائل الملائمة في تصميم البنايات لحجب الشمس عن بعض أجزاء البناية أو السماح لها بالنفاذ الى الداخل. و يمكن استخدام هذه الخرائط لايجاد كمية الاشعاع الشمسي الساقطة على الأسطح الأفقية بشكل تقر يبي خاصة في أيام الصحو، ولعمل خر يطة شمسية لأي نقطة في العالم تتبع الخطوات ا لتالية :ـ

١ ـ ارسم خطين متعامدين احدهما يمثل خط الشمال ـ الجنوب والآخر خط الشرق ـ الغرب.

٢ ـ ثبت فرجاراً في نقطة التقاطع وارسم تسع دوائر تزداد أقطارها بشكل عددي بمعنى أنه اذا كان قطر الدائرة الأولى ١سم فان قطر الدائرة الثانية ٢سم والثالثة ٣سم وهلم جرا.

٣ ـ رقم هذه الدوائر بحيث تجعل الدائرة الخارجية تمثل صفر درجة والتي تليها تمثل ١٠ درجات وهكذا الى أن تصل الى أن مركز الدوائر (خط تقاطع المحور ين) يمثل ٩٠ درجة، وتمثل قيم هذه الدوائر بالدرجات زاو ية ارتفاع الشمس.

٤ ـ قسم محيط الدائرة الخارجية الى أقسام متساو ية بحيث يمثل كل قسم ١٠ درجات وارسم أقطار الدوائر التي تصل بين النقاط المتقابلة وتمر في مركز الدوائر (خط تقاطع المحور ين)، وتمثل هذه القيم زاو ية السمت الشمسي.

٥ ـ لتعيين حركة الشمس في أي يوم خلال السنة بالنسبة لمشاهد يقف في مركز الدوائر ابدأ بحساب زاو يتي ارتفاع الشمس والسمت الشمسي خلال ساعات النهار، فمن أجل تعيين موقع الشمس في أي لحظة يتطلب الأمر معرفة الزاو يتين سالفتي الذكر حسب المعادلات السابقة، فلو أردنا تعيين موقع الشمس كما في المثال السابق فانها تقع على نقطة على محيط دائرة نصف قطرها ٤٨,٦

درجة وتبعد ٤٩,٢ درجة باتجاه الشرق عن الخط الخارج من مركز الدوائر باتجاه الجنوب.

٦ ـ بعد أن يتم تعيين مواقع الشمس خلال ساعات النهار المختلفة ارسم خطاً يمر في كل هذه النقاط ، و يمثل هذا الخط مسار الشمس خلال ذلك اليوم بالنسبة لمشاهد يقف في مركز الدوائر.

علينا ملاحظة أنه اذا كانت حركة الشمس النسبية متماثلة خلال اليوم الواحد حول خط الظهر الشمسي فانها أيضاً متماثلة حول الخط الذي يصل بين نقطتي الانقلاب الصيفي والشتوي على مدار الأرض حول الشمس، و يعني هذا أن حركة الشمس النسبية من ٢١ يونيو حز يران الى ٢١ ديسمبر كانون الأول مروراً بأشهر يوليو ــ تموز، واغسطس ــ آب، وسبتمبر ــ أيلول، واكتوبر ــ تشر ين الأول، ونوفمبر ــ تشر ين الثاني تماثل حركتها بين ذات اليومين مروراً بأشهر مايو ــ آيار، ابر يل ــ نيسان، ومارس ــ آذار، وفبراير ــ شباط، و يناير ــ كانون الثاني، وهذا التماثل في حركة الشمس له أهمية كبيرة في الحسابات الشمسية اذ أنه يسهل من عمل النماذج الر ياضية التي تصف حركة الشمس وكميات الاشعاع الشمسي الساقطة في منطقة ما.

في الشكل رقم(١٧)نقدم خر يطة شمسية للكو يت تبين حركة الشمس وموقعها بالنسبة لمشاهد يقف في الكو يت، ولأجل تعيين موقع الشمس في أي وقت خلال العام فالمطلوب هو معرفة الوقت الشمسي واليوم ومن ثم تعيين النقطة المطلوبة وقراءة زوايا ارتفاع الشمس والسمت الشمسي مباشرة، هناك استعمالات أخرى لهذه الخر يطة الشمسية اذ يمكن بواسطتها معرفة زاو ية سقوط أشعة الشمس على أي سطح أفقي أو عمودي مهما كان اتجاه هذا السطح العمودي، فبالنسبة للسطح الأفقي يمكن ايجاد زاو ية سقوط أشعة الشمس باستعمال العلاقة التالية:ــ

زاو ية ارتفاع الشمس + زاو ية سقوط أشعة الشمس = ٩٠ درجة

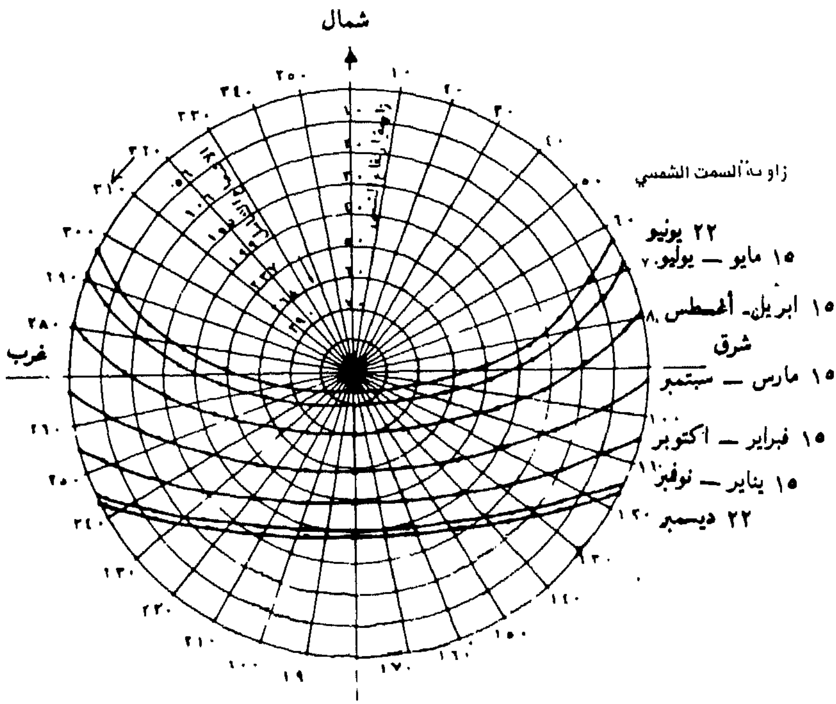
وبايجاد زاو ية ارتفاع الشمس من الخر يطة الشمسية يمكن ايجاد زاو ية سقوط أشعة الشمس على السطح الأفقي، أما بالنسبة للأسطح العمودية فمن أجل حساب زاو ية سقوط أشعة الشمس على أي سطح عمودي ارسم خطاً عمودياً من النقطة التي تمثل موقع الشمس على المحور المتعامد مع الواجهة المذكورة. فمثلا اذا أردنا معرفة زاو ية سقوط أشعة الشمس على الواجهة الشرقية في الساعة العاشرة صباحاً من يوم ٢١ آذار فاننا نقوم بتعيين موقع الشمس في تلك الساعة ثم نرسم خطاً من هذه النقطة يسقط عمودياً على المحور الخارج من مركز الدوائر باتجاه

الشرق، عند نقطة التقاطع اقرأ قيمة الزاوية واستعمل العلاقة التالية :ـ

زاوية السقوط على الواجهة العمودية = ٩٠ - زاوية نقطة التقاطع

ففي المثال السابق تكون زاوية السقوط على الواجهة الشرقية لبناية في الكويت في الساعة العاشرة صباحاً بالتوقيت الشمسي في ٢١ آذار تساوي ٣١ درجة.

ان بالامكان أيضاً استخدام الخرائط الشمسية لمعرفة كمية الاشعاع الشمسي الساقطة على السطح الأفقي بشكل تقريبي، وقد وضعنا على الخريطة في الشكل رقم(١٧) بعض الأرقام الخاصة بكميات الاشعاع الشمسي والتي سنشير لها بشكل مفصل في جزء لاحق.



شكل١٧ ـــ خريطة شمسية للكويت

الفصل الثامن

حفظ الطاقة وصيانتها

إن الحديث عن مصادر الطاقة البديلة لا يكتمل الا بمعالجة مسألة حفظ الطاقة وصيانتها، ونأمل أن لا يجد القارىء غرابة في تأكيدنا على هذا الموضوع اذ أننا في الفصول السابقة أشرنا الى أن بعض مصادر الطاقة البديلة كالطاقة الشمسية والهوائية وغيرها هي مصادر متجددة ودائمة، ولذلك فلا مبرر للحديث عن مسألة حفظ الطاقة وصيانتها ما دام هناك مصادر لا تنضب، غير ان الحديث عن الطاقة البديلة يسير جنبا الى جنب مع مسألة حفظ الطاقة بل إن القضايا التي سنطرحها في هذا الفصل ستبين بشكل واضح أن حفظ الطاقة ليس في النهاية الا التعامل العلمي مع مصادر الطاقة كافة المتجددة منها والمحدودة.

لقد كان لما يدعى باسم «أزمة الطاقة» دور هام في لفت أنظار المختصين بشئون الطاقة الى موضوع حفظها وصيانتها من التبذير والى تأكيد ضرورة التعامل معها بشكل علمي، ولقد كان من نتائج «أزمة الطاقة» أن أخذ المهتمون بالموضوع بدراسة القطاعات التي يستهلك فيها الانسان الطاقة والبحث فيما اذا كان بالامكان تقليل استهلاك الطاقة دون التأثير على مستوى رفاهية الفرد أو على القدرات الانتاجية للمجتمعات الأخرى.

ومما لا شك فيه أن توفر مصادر الطاقة أمر أساسي لرفاه الانسان وتقدمه ورفع مستواه المعاشي وزيادة قدراته على التعامل مع المعطيات الطبيعية من أجل انتاج متطلباته الحياتية، والواضح تاريخيا أنه كلما اكتشف الانسان مصدرا جديدا للطاقة حدثت ثورة علمية في حياته زادت من قدراته

الانتاجية في مجال الصناعة والزراعة والتجارة والسفر والتنقل وتوفير متطلبات الراحة المادية.

شكلت الثورة الصناعية في أوروبا في القرون الماضية نقطة تحول في أنماط استخدام الانسان للطاقة، فبعد أن كان الانسان يعتمد على قواه العضلية أو على الحيوانات أو بعض المصادر الطبيعية كالشمس والرياح وحركة المياه أخذ بالاعتماد على مصادر جديدة للطاقة كالفحم في البداية ثم النفط والغاز لاحقا والطاقة النووية بعد ذلك، وترافق مع الثورة الصناعية ازدياد الآلات الميكانيكية وانتشارها بشكل واسع وأخذت بدورها تزيد من الطلب على مصادر الطاقة الجديدة، ثم أتى عصر الكهرباء وتوسع استعمال الطاقة الكهربائية في المنازل والمصانع، وقد خلق هذا بدوره المزيد من الطلب لمصادر الطاقة.

وتكثفت الجهود البشرية في هذا القرن للبحث عن مصادر الطاقة من فحم وبترول وغاز لتلبية الطلب المتصاعد على مصادر الطاقة هذه، ومع المزيد من اكتشاف مصادر الطاقة كان الاستهلاك يتصاعد بمعدلات عالية وكانت مصادر الطاقة الجديدة تحل محل المصادر القديمة، ووصل الأمر الى حد أن البشر بدءوا وكأنهم مغرمون بالبحث عن طرق ووسائل لاستهلاك ما يكتشف من هذه المصادر دون التفكير في المستقبل، وقد ساعد على تصاعد معدلات استهلاك الطاقة حقيقة أنها كانت سلعة رخيصة جدا بالمقارنة مع السلع الأخرى، وتدريجيا أخذت الحياة الحديثة تتجه لأن تصبح معتمدة بشكل أكبر وأكبر على توفر مصادر لا تنضب من الطاقة.

غير أن فترة الأحلام الوردية القائمة على توفر مصادر للطاقة لا تنضب وبشكل رخيص لم تدم طويلا اذ سرعان ما قرع الجرس معلنا للجميع أننا قد أغفلنا مسألة جد أساسية وهي الصفة الأكثر أهمية لمصادر الطاقة الجديدة من فحم ونفط وغاز الا وهي محدودية هذه المصادر، لقد تعلمنا بسرعة الحقيقة القائلة بأن أقصى ما يمكن أن نطمح اليه هو أن نكتشف المزيد من

مناجم الفحم أو المزيد من حقول النفط والغاز، وتعلمنا أيضا حقيقة أن هذا المزيد فيما لو تم استغلاله فانه لن يكون بالشكل ذاته الذي اعتدنا عليه، وحتى لو تجاوزنا مسألة الأسعار والتكلفة فانه يبقى أمامنا حقيقة أكثر سطوعا وهي أنه مهما كان حجم اكتشافاتنا من مصادر الطاقة الجديدة وغير المتجددة فاننا مواجهون أزمة في زمن مستقبلي قريب. إن نضوب مصادر الطاقة الحالية أمر لا مفر منه وهو إن لم يحدث في عصرنا فانه سيحدث في عصر الأجيال التي ستأتي من بعدنا.

اذن فنحن مقبلون على عصر ستنضب فيه مصادر الطاقة كالفحم والبترول والغاز، ومادمنا نعي هذه الحقيقة ونقبل بها فان علينا أن نجد الحلول لهذه المعضلة ان أردنا توفير سبل الحياة لأنفسنا وللأجيال من بعدنا.

تتركز الاتجاهات المعاصرة لمواجهة محدودية مصادر الطاقة الحالية واحتمال استنزافها المستقبلي في اتجاهين أساسيين: الأول هو البحث عن مصادر بديلة للطاقة و يفضل أن تكون مصادر دائمة ومتجددة وقليلة الآثار التلويثية ما أمكن ذلك، والثاني هو التعامل مع مصادر الطاقة ومع احتياجاتنا للطاقة بشكل علمي لتقليل معدلات استنزاف المصادر الحالية وللتأقلم مع المعطيات التي ستفرضها بالتأكيد مصادر الطاقة البديلة.

ويجري في العديد من دول العالم ــ وبخاصة الدول الصناعية المتقدمة ــ العديد من حملات التوعية التي تطالب المستهلكين بالحد من استهلاك الطاقة، وفي العادة تشير هذه الحملات الى الوسائل والأساليب التي يستطيع بواسطتها الناس تقليل استهلاكهم للطاقة في جميع المجالات، وتؤكد هذه الحملات على أن تقليل معدلات الاستهلاك من خلال اتباع الارشادات المختلفة لن تؤثر على مستوى الرفاه الحالي للبشر في تلك المجتمعات.

إن مثل هذه الحملات صحيحة فيما تذهب اليه، اذ بالامكان تقليل

استهلاكنا من الطاقة مع الاحتفاظ بالمستويات المعاشية حتى في أكثر الدول رفاهية، لكن ورغم صحة ما تذهب اليه هذه الحملات فانها لا تخبرنا بالقصة الكاملة، اذ أنها تركز على جانب واحد من مسألة الطاقة وهو اجراءات حفظ الطاقة وتقليل استهلاكها، إن الحديث عن اجراءات حفظ الطاقة هو جانب واحد من موضوع أعم وأشمل هو موضوع الطاقة بشكل عام، ان الحديث عن حفظ الطاقة يشمل ضمنيا استهلاكها فلا يمكن اللجوء الى اجراءات حفظ الطاقة دون أن نكون دخلنا مرحلة استهلاكها.

ومن هنا فان الحديث عن حفظ الطاقة يقتضي منا التعامل مع موضوع الطاقة من الألف حتى الياء، وضمن هذا المنظور سنناقش مسألة حفظ الطاقة وصيانتها.

أسئلة أساسية:

قد يبدو غريبا أن نأتي في هذه المرحلة لنطرح بعض الأسئلة الأساسية حول موضوع الطاقة، فقد انتشر استعمال الطاقة بشكل واسع في كافة المجالات الحياتية ودخلت الآلات والأجهزة التي تعمل بالطاقة الى كل بيت ومكتب ومصنع ومزرعة، ووصل الأمر الى درجة من التطور أصبح فيه من الصعب على الانسان أن يفكر بأن ثمة طريقاً آخر للاحتفاظ بأنماط الحياة الحالية دون ضمان استمرار تدفق سيل لا نهاية له من مصادر الطاقة التقليدية من بترول وفحم، لكن لا يشك انسان في أن هذه المصادر آيلة الى النضوب مما يهدد الأنماط المعيشية الحالية بالخطر ويضع مستقبل الانسان في مأزق.

لقد اعتاد الكثير من الناس ــ وبخاصة في المجتمعات الصناعية المتقدمة ــ على أنماط معيشية تقوم على استهلاك مكثف للطاقة، فالمصانع بحاجة الى مصادر دائمة للطاقة كي تستمر في العمل والانتاج، والناس بحاجة الى وسائط نقل ومواصلات وهي بدورها تحتاج الى طاقة بشكل محروقات كالبنزين والديزل، والبيوت والمكاتب أخذت تعتمد على

الكهرباء والغاز لأغراض التدفئة والتبريد والطبخ، ولتشغيل الثلاجات والغسالات والأجهزة الكهربائية الأخرى، وباختصار أصبح كل جانب في حياتنا يعتمد على الطاقة، وأصبح من العسير علينا التفكير بأنه يمكننا التأقلم مع أوضاع معيشية لا تقوم على الاستخدام المكثف للطاقة.

ولكن بالرغم من أن صورة الوضع الحالي لاستهلاك الطاقة هي صورة حقيقية وقائمة الا أنها ليست الصورة الوحيدة الممكنة، إن أنماط الاستهلاك الحالية للطاقة ليست أنماطا سرمدية ولم توجد منذ آلاف السنين بل إنها صور حديثة جدا، وحتى لا نقع في شرك أنماط الاستهلاك السائدة في الدول الصناعية لابد من الاشارة الى أن الغالبية من السكان في العالم المتواجدين في الدول الفقيرة يستهلكون كميات قليلة جدا من الطاقة مقارنة بما يستهلكه سكان الدول الصناعية المتقدمة، وقد يطرح البعض وجهة النظر القائلة بأن هناك علاقة بين التطور الصناعي وبين زيادة استهلاك الطاقة وهو ما يبرر هذا الاستهلاك العالي من الطاقة في الدول الصناعية، ولا نشك في أن التطور الصناعي يستدعي زيادة الطلب على الطاقة لكننا نود التأكيد على أن العلاقة بين التطور الاقتصادي واستهلاك الطاقة ليست بالضرورة هي العلاقة القائمة حاليا، وبالنتيجة فان مستويات التطور الاقتصادي الحالية لا تفترض بالضرورة معدلات الاستهلاك الحالية من الطاقة.

اذا كنا بحاجة الى اثبات حقيقة أن مستوى الرفاه ليس مرتبطا بالضرورة بزيادة استهلاك الطاقة فسنأخذ على سبيل المثال استهلاك الطاقة في تدفئة البنايات وتبريدها، إن الأمر البديهي في هذا المجال هو أن استعمال العوازل الحرارية في البنايات وتصميم البنايات بشكل علمي يستفيد من المعطيات البيئية ويقلل من كمية الطاقة المطلوبة للاحتفاظ بأجواء ملائمة ومريحة داخل البنايات، لكن الفارق بين عزل البنايات بالعوازل وعدم عزلها أو بنائها بشكل علمي أو عدم بنائها هو فارق لا علاقة له بالطاقة وتوفرها بل يعتمد على مجموعة المفاهيم السائدة في المجتمع وعلى

بعض العوامل الاقتصادية والاجتماعية وحتى الجمالية، غير أنه من وجهة نظر استهلاك الطاقة فان عزل البنايات وبناءها بطريقة علمية ملائمة للمناخات السائدة يؤدي الى تقليل استهلاك الطاقة بشكل كبير دون أن يؤثر في رفاه الانسان الذي يسكن هذه البنايات. هذا مثال واحد من أمثلة كثيرة تدلنا على أنه بالامكان الاحتفاظ بمستويات حياتية جيدة دون الحاجة الى تبذير الطاقة.

ولكي نتبين الأمر على مستوى أكبر فاننا نشير الى دراسة (١) عن الطاقة في الدانمارك تبين منها أن معدل استهلاك الفرد الدانماركي من الطاقة لأغراض التدفئة والطبخ قد انخفض في الفترة ما بين بداية القرن السادس عشر الى أوائل القرن العشرين، ثم أخذ بالارتفاع مرة أخرى، وحتى نوضح الأمر بشكل أفضل نقدم الجدول التالي (٢) :ـ

جدول رقم (١)

معدل الاستهلاك الفردي في الدانمارك من الطاقة الأولية لأغراض التدفئة والطبخ

السنة	الاستهلاك (غم كالوري/ سنة) × ١٠^٩
حوالي ١٥٠٠	٧ـ١٥
١٨٠٠	٧
١٩٠٠	٣
١٩٥٠	٧
١٩٧٥	١٧

لو أننا قبلنا بالرأي القائل بأن مستوى الرفاه والتقدم يتناسب طرديا مع معدلات استهلاك الطاقة لوجب علينا القبول بأن الدانماركيين كانوا أفضل

(١) Lovins, A. B, **Soft Energy Paths,** Penguin Books, England, 1977, P8

(٢) المصدر السابق ، ص ٨

حالا في بداية القرن السادس عشر عما كانوا عليه في أوائل القرن العشرين، غير أنه من الواضح أن مثل هذه المقولة لا تقوم على أية أسس علمية ولا تتوفر دلائل تسندها، لكن لو أخذنا الفترة ما بين ١٩٠٠-١٩٧٥ لظهر الأمر وكأن ازدياد التقدم في الدانمارك مترافق مع ازدياد استهلاك الطاقة، الواقع أن تفسير الاحصاءات في **الجدول رقم (١)** ممكن اذا أخذنا بالاعتبار طبيعة مصادر الطاقة الأولية قيد الاستعمال في الفترة المذكورة وطريقة استعمالها، ففي القرن السادس عشر وحتى التاسع عشر كانت الأخشاب هي مصدر الطاقة الرئيسي في البيوت الدانماركية، وكانت الأخشاب تحرق في مواقد مفتوحة مما ينجم عنه تبذير الطاقة بشكل كبير بدل استعمالها بشكل فعّال، أما مع أوائل القرن العشرين فقد كان الفحم هو مصدر الطاقة وكان يحرق في مواقد مغلقة بحيث لا ينتج هناك تبذير للطاقة بشكل ملموس، ومع شيوع استعمال النفط والكهرباء في الدانمارك في النصف الثاني من القرن الحالي عادت معدلات التبذير العالية مرة أخرى، بالطبع، لا نستطيع أن ننكر امكانية أن تكون متطلبات الفرد الدانماركي من الطاقة قد ازدادت لكن علينا بالضرورة أن نأخذ بالاعتبار طريقة استهلاك الطاقة وشكلها.

ان ما نود الوصول اليه هو أن الاستهلاك الحالي من الطاقة ليس أمرا سرمديا ولا هو بالمعطى الطبيعي المفروض على البشر بواسطة قوى خارجة عن ارادتهم بل هو واقع من صنع البشر أنفسهم، ومادام هذا الواقع من صنع البشر فاننا نملك كامل الحق في مناقشته ومعرفة تفاصيله حتى نصل الى أن نتجاوز نواقصه ونطرح البدائل.

هنا، نعود الى الأسئلة الأساسية والبسيطة في موضوع الطاقة لنطرحها ونحاول تبين الاجابات الصحيحة (٣):

---

(٣) المصدر السابق، ص ٧

- **من يحتاج الى الطاقة؟**
- **كم يحتاج؟**
- **أي نوع يحتاج؟**
- **لأي غرض يحتاجها؟**
- **لأية فترة زمنية؟**

من المفروغ منه أن الطاقة مطلوبة في حياة البشر ولا يمكن الاستغناء عنها، غير أن التأكيد على أهمية الطاقة يجب أن لا يدفعنا الى الخلط بين الطاقة كوسيلة لخلق أوضاع معيشية أفضل للانسان ولتسهيل مهمات انتاج متطلبات حياته وبين الطاقة كهدف، إن استعمال الطاقة ليس أكثر من وسيلة يستخدمها الانسان ولا يصح أن تصبح غير ذلك، إن الهدف هو خلق الظروف المعيشية الملائمة للانسان من خلال استهلاك الطاقة حيثما دعت الحاجة الى ذلك، وليس استهلاك الطاقة لمجرد الاستهلاك.

إن النظر الى الطاقة باعتبارها وسيلة لتحقيق غرض يقتضي أن يستهلك منها ما يحقق الغرض المنشود بدون اسراف، وحين نقول تحقيق الغرض المنشود فاننا نؤكد أن يتم ذلك بأعلى مستويات الكفاءة الممكنة، ومن هنا فان الجانب الكمي في استهلاك الطاقة يأخذ أهمية باعتباره مرتبطاً بتحقيق الغاية دون أن يشكل هذا الكم غاية في حد ذاته .. ان التباهي بارتفاع معدلات استهلاك الطاقة في أي بلد لا يعني بالضرورة زيادة الرفاه أو التقدم الاقتصادي في ذلك البلد بقدر ما قد يعني تفشي أشكال التبذير المختلفة، وهو الأمر الذي لا يقره التعامل العلمي مع مصادر ثمينة غير متجددة وليست حكرا على مجتمع دون آخر أو جيل دون آخر.

وبالاضافة الى تحديد كمية ما نحتاج من الطاقة فان علينا النظر الى نوع الطاقة التي نحتاجها، والواقع أن هذا الجانب من مسألة الطاقة غاية في

الأهمية لسبب أساسي وهو أن أنماط الاستهلاك الحالية من الطاقة لا تقوم بالضرورة بتزويد المستهلك بالنوع المطلوب من الطاقة بل تلجأ أحيانا الى تحويل الطاقة من شكل الى آخر لتوفرها للمستهلك في النهاية بشكل يختلف عما يريده، فمثلا لنفترض أن المستهلك بحاجة الى طاقة لتسخين المياه المنزلية، فان الحاجة النهائية للمستهلك في هذه الحالة هي طاقة حرارية لتسخين المياه فقط، وفي الامكان تلبية هذه الحاجة اما بواسطة المصادر الطبيعية كالطاقة الشمسية مثلا أو بواسطة حرق الوقود مباشرة في سخان للمياه، غير أن ما نلاحظه هو أن المستهلك قد يحصل على طاقة كهربائية يقوم بتحويلها الى طاقة حرارية لتسخين المياه في منزله، ولو نظرنا الى المراحل التي مرت بها الطاقة حتى تحولت من طاقة مخزونة في الوقود الى طاقة حرارية في سخان المياه الكهربائي لوجدنا أنها تتحول في البداية الى طاقة حرارية لانتاج بخار على درجات حرارة عالية وضغط عال، بعد ذلك تتحول الطاقة الحرارية في البخار الى طاقة حركية في التوربين، ومن ثم تتحول الى طاقة كهربائية تنقل عبر أميال طويلة من الأسلاك الكهربائية لتصل الى المستهلك بشكل طاقة كهربائية لتتحول من ثم الى طاقة حرارية، إن هذا الاسلوب في تلبية احتياجات المستهلك لا يحمل في طياته سوى التبذير فقط ويشبه ذلك الذي يسير في منحنيات وطرق متعرجة لساعات طويلة حتى يصل الى نقطة كان باستطاعته الوصول اليها في دقائق قليلة.

إضافة الى ما تقدم فان تحديد نوع الطاقة المطلوبة يتطلب النظر الى خصائص هذه الطاقة، فاذا كنا نتكلم عن الحاجة الى الطاقة الحرارية لتسخين المياه أو التدفئة فان الوضع يختلف عما لو كنا نتكلم عن الحاجة الى بخار حار للاستعمال في الأغراض الصناعية، فالفارق هنا يكمن في درجة الحرارة المطلوبة، فالماء الساخن للاستعمال المنزلي يكون في العادة على درجة حرارة أقل من ٦٠°م بينما حين نتكلم عن تدفئة البيوت فاننا لا

نحتاج أن تكون بيوتنا على درجة حرارة أكثر من ٢٢ْم في فصل الشتاء، وحتى بالنسبة لأعمال التبريد فان هناك بعض أنظمة التبريد التي لا تحتاج الى طاقة كهربائية بل الى طاقة حرارية تتزود بها هذه الأنظمة بشكل مياه حارة، وفي العادة فان درجة حرارة المياه المطلوبة تكون حوالي ٩٠ْم أو أقل، لكن لو نظرنا الى ما يحصل في محطة توليد الكهرباء لتوصلنا الى النتيجة التي تبين أننا نقوم في البداية بانتاج بخار على مئات الدرجات المئوية لنحصل على كهرباء نستعملها من ثم في تسخين المياه الى أقل من ٦٠ْم أو تسخين الهواء للتدفئة الى حوالي ٣٥ْم. مرة أخرى نقول إن هناك الكثير من التحفظات على مثل هذه الأساليب في التعامل مع الطاقة، إن من كان بحاجة الى الصعود الى قمة تل لا يحتاج أن يصعد الى قمة جبل عال في البداية ليعود فيهبط الى التل، فادام هناك طريق مباشر الى التل فلنسلكه مباشرة.

أنماط استهلاك الطاقة:

هناك ثلاثة أشكال أساسية من الطاقة يستهلكها البشر وهي الطاقة الحرارية والطاقة الكهربائية والطاقة الحركية (الميكانيكية)، وهناك بالطبع الطاقة الضوئية من الشمس التي تشكل المصدر الأساسي لكل أشكال الطاقة في الأرض لكننا لن ندرجها هنا. وحين نتحدث عن استهلاك الطاقة بأشكالها المختلفة فاننا نعني بذلك الطاقة المستمدة من مصادر أولية موجودة في الأرض كالفحم والبترول والغاز والمصادر الأخرى، وحيث إننا معنيون هنا بموضوع حفظ وتوفير الطاقة فان نقاشنا مرتبط بالطاقة الناتجة عن استهلاك مصادر الطاقة غير المتجددة كالفحم والبترول ومشتقاتها.

تشكل مصادر الطاقة غير المتجددة القسم الأعظم من استهلاكنا للطاقة وهو ما يهدد هذه المصادر بالنضوب السريع ويضعنا في مواجهة معضلة يترتب علينا أن نجد لها الحلول المناسبة، وتستعمل مصادر الطاقة غير المتجددة لتلبية العديد من احتياجاتنا سواء كانت تلك بشكل طاقة

كهربائية للانارة أو تشغيل الأجهزة الكهربائية، أو طاقة حركية لتشغيل محركات وسائط النقل، أو بشكل طاقة حرارية في أعمال التدفئة والتسخين والأغراض الصناعية، لكن رغم تعدد احتياجاتنا من أشكال الطاقة المختلفة الاّ أننا نستمدها من مصدر أساسي وهو المصادر غير المتجددة، وعلى ذلك فان هناك جانبين أساسيين في موضوع الطاقة نجد من الضروري التفريق بينهما وهما:

١ ــ مصدر الطاقة الأولية.

٢ ــ الاستعمال النهائي للطاقة.

في المثال السابق الذي طرحناه حول تسخين المياه في البيوت أو تدفئتها بواسطة الطاقة الكهربائية رأينا كيف أن الطاقة تمر بأشكال مختلفة وتتحول من شكل الى آخر حتى تصل الى المستهلك الذي يستعملها لتلبية حاجة نهائية، في هذا المثال ابتدأنا بمصدر للطاقة الأولية هو عبارة عن الطاقة المخزونة في البترول أو الفحم وانتهينا بالطاقة الحرارية على درجات حرارة منخفضة، ويتضح لنا من هذا المثال أننا ابتدأنا من مصدر للطاقة يختلف عن الاستعمال النهائي المطلوب، وان الوصول الى الاستعمال النهائي ترتب عليه المرور بمراحل مختلفة وبتبذير كبير للطاقة، لكن اذا كان المقصود من استهلاك الطاقة هو تلبية غرض معين وتقديم خدمات معينة فلا داعي للدخول في كل هذه المتاهات بل يجب التوجه مباشرة لتلبية الحاجة المطلوبة.

إذا كان هناك من يطرح سؤالا حول: ما هو البديل عن الدخول في مراحل تحويل الطاقة المختلفة؟ فان الاجابة ليست صعبة اطلاقا رغم أن تحقيقها قد يكون صعبا بعض الشيء، إن المطلوب بكل بساطة هو تقديم كمية من نوع الطاقة المطلوبة بأكثر الطرق فعالية وبأقلها تلويثا للبيئة وأكثرها حفظا لمصادر الطاقة غير المتجددة التي هي أثمن بكثير من أن

تحرق لتسخين المياه أو تدفئة البيوت، إن تسخين المياه وتدفئة البيوت وتبريدها لا يتطلب حرق كميات ضخمة من الوقود بل يمكن الاعتماد على المصادر الطبيعية كالطاقة الشمسية والهوائية للقيام بذلك، وبالطبع لا ننسى الأمر الأكثر أهمية في هذا المجال وهو بناء البيوت والبنايات بشكل يتلاءم والمعطيات المناخية الأمر الذي سيقلل الحاجة الى الطاقة حتى من المصادر الطبيعية المتجددة.

قد يخطر ببال بعضنا أن يطرح سؤالا عن سبب هذا التأكيد على استهلاك الطاقة لأغراض التدفئة والتبريد وتسخين المياه، والجواب هنا أيضا غاية في البساطة وهو أن هذه الخدمات تستهلك كميات كبيرة من الطاقة تثير دهشة المختصين في هذا المجال، فلو نظرنا الى أكبر دولة مستهلكة للطاقة وهي الولايات المتحدة الأمريكية لوجدنا أن ما يقرب من ٢٥-٣٠٪ من مجمل استهلاكها للطاقة يذهب لأغراض التدفئة والتبريد، أي أنه يستهلك بشكل طاقة حرارية على درجات حرارة منخفضة.

ولا يختلف الأمر في الولايات المتحدة عنه في الكثير من الأقطار الصناعية الأخرى مثل كندا والمانيا وبريطانيا وفرنسا، إن الدراسات التي جرت في هذه الدول دلت على أن ٣٥-٦٠٪ من مجمل استهلاك الطاقة فيها يتم بشكل استعمال نهائي على درجات حرارة أقل من ١٠٠م°، وواضح أن انتاج طاقة على مثل هذه الدرجات الحرارية لا يتطلب بالضرورة استنزاف مصادر الفحم والبترول والغاز كما أنه لا يتطلب بناء المفاعلات النووية.

في الجدول رقم (٢) نقدم قائمة بالاستهلاك النهائي من الطاقة في الدول الصناعية الغربية الرئيسية (٤):

---

(٤) المصدر السابق ص ٨١

جدول رقم (٢)
الكمية التقريبية للطاقة المستعملة حسب الاستعمال النهائي
(النسب المئوية)

الصنف	الولايات المتحدة ١٩٧٣	كندا ١٩٧٣	المانياالغربية ١٩٧٥	فرنسا ١٩٧٥	بريطانيا ١٩٧٥
حرارة (المجموع)	٥٨	٦٩	٧٦	٦٤	٦٥
أقل من ١٠٠م	٣٥	٣٩	٥٠	٣٧	٥٥
١٠٠-٢٠٠م	٦	١٩	٦	٢٧	١٠
أكثر من ٢٠٠م	١٧	١١	٢٠		
ميكانيك (المجموع)	٣٨	٢٧	٢٠	٣١	٣٠
وسائط نقل	٣١	٢٤	١٨	٢٦	٢٧
خطوط أنابيب	٣				
كهرباء صناعية	٤	٣	٣	٥	٣
استعمالات كهربائية أخرى	٤	٤	٤	٥	٥
المجموع العام	١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠

ويتضح من الجدول رقم (٢) أن الاستعمالات الكهربائية المباشرة لا تتعدى ١٠٪ من استهلاك الطاقة في أي من البلدان المدرجة في الجدول، وان الأصناف الأخرى من الطاقة لا تتطلب بالضرورة بناء محطات

كهربائية مع ما يتبعها من أنظمة توزيع ومئات الأميال من الأسلاك الكهربائية، إن تزويد الطاقة الحرارية المطلوبة بواسطة تسخين المياه في سخان يعمل على الوقود وبكفاءة ٨٠٪ مثلا هو أكثر توفيرا من تسخين ذات الكمية باستعمال سخان كهربائي نظرا لأن محطات توليد الطاقة الكهربائية تعمل بكفاءة منخفضة تقدر بحوالي ٣٠-٣٥٪.

إن التحول باتجاه اتباع سياسات لاستخدام الطاقة تعتمد على الحاجة النهائية وليس على مصدر الطاقة الأولية كفيل بالحد من الاستهلاك المتزايد لمصادر الطاقة الحالية، إن مثل هذا التحول لن يؤدي الى التضحية بمستويات المعيشة السائدة حتى في أكثر الدول رفاهية لكنه بالتأكيد سيرفع من كفاءة استخدامنا لمصادر من الطاقة لن تتجدد في حال استنزافها كما هو حال مصادر الفحم والبترول والغاز، كما أن هذا التحول اذا ما رافقه بعض التغيرات في أنماط تزويد المستهلكين بالطاقة سيعمل على الاستفادة من مصادر الطاقة الطبيعية المتجددة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة الأمواج وسيؤدي في المدى الطويل الى تكثيف اعتمادنا على مثل هذه المصادر وتقليل اعتمادنا على المصادر غير المتجددة، واضافة الى ذلك فان اتباع سياسات طاقة ملائمة سيقلل من الحاجة الى الاعتماد على المفاعلات النووية وربما ينجح على المدى الطويل في اعادة المارد النووي الى القمقم وتجنيب البشرية الأخطار المحدقة نتيجة استعمال الطاقة النووية، إن أي مفاعل نووي لتوليد الطاقة ليس الا الخطوة الأولى لتراكم المعلومات والخبرة لانتاج الأسلحة النووية وهو الأمر الذي لن يخدم البشر بأي شكل، هذا ناهيك عن الأخطار المترتبة على استعمال المفاعلات النووية في الوقت الحاضر كأخطار تسرب الاشعاع النووي أو التخلص من النفايات النووية، لقد كانت الطاقة دائما وسيلة في يد الانسان لزيادة رفاهيته وتسهيل أموره الحياتية ويجب أن لا تصبح الطاقة مصدر خطر على وجود الانسان نفسه على الأرض.

إجراءات حفظ الطاقة:ـ

تكلمنا في الجزء السابق من هذا الفصل عن الحاجة الى اتباع سياسة طاقة تعتمد على الحاجة النهائية للطاقة وليس على مصدر الطاقة الأولية، ومن البدهي أن التحول باتجاه سياسة طاقة جديدة يقتضي منا النظر الى كيفية تلبية حاجاتنا النهائية من الطاقة، كما يقتضي أيضا النظر الى الكيفية التي تستهلك بها الطاقة وما اذا كان في الامكان تقليل هذا الاستهلاك دون احداث تغييرات في راحة البشر أو رفاهيتهم.

تعتمد معظم الاجراءات المتبعة حاليا في دول العالم المختلفة على مطالبة الأفراد والشركات والمؤسسات الصناعية بتقليل الاستهلاك من الطاقة من خلال عدم تبذيرها، فاذا كان بالامكان الاستغناء عن ضوء المصباح الكهربائي أثناء النهار مثلا فلا داعي لاستعماله، واذا كنت تشعر بالراحة في بيت أو مكتب على درجة ٢٥ْم فلا داعي لتشغيل أجهزة التكييف وقتا أطول لخفض درجة الحرارة الى ٢٠ْم، واذا كان في الامكان أن ينتقل كل خمسة أفراد في سيارة واحدة فلا داعي أن يذهب كل منهم بسيارته، واذا كان الجو حارا والشمس ساطعة فلا داعي لتجفيف الملابس في مجففة كهربائية.

وهناك في الواقع العديد من الوسائل التي يمكن بواسطتها تقليل استهلاك الطاقة؛ ومن بين هذه الوسائل ما يترتب عليه تغيرات في عادات الناس اليومية كأن ينتشر استعمال خطوط المواصلات العامة بدل الاعتماد على السيارات الخاصة، وحتى السيارات الخاصة يستحسن أن تلجأ مجموعة من الناس الى استعمال سياراتهم بالتناوب لنقل بعضهم مع بعض بدل أن ينتقل كل على حدة ، ومن فوائد توسيع النقل الجماعي أو شبه الجماعي أن يفقد الفرد عزلته التي يعيش فيها حين يكون في سيارته وحده، وسيضطر بدل ذلك الى الانخراط مع الآخرين والتحدث معهم والتعرف عليهم، وهذه النتيجة ليست سيئة اطلاقا بل هي أفضل بكثير من حالة العزلة لأن التقاء

الناس بعضهم ببعض وتعارفهم من أفضل الوسائل الاجتماعية لتقليل التوتر بين الأفراد وتعميق مفهوم الشعور بالأمن، والشخص الذي تراه وتلقاه يوميا يصبح بالنسبة لك مأمون الجانب وأهلا للثقة والشعور بالأمن نحوه أكثر من انسان لم يسبق أن رأيته مسبقاً.

لسنا هنا في معرض الحديث عن علم الاجتماع أو علم النفس، غير أنه لا يمكن فصل موضوع الطاقة عن وجود البشر وعلاقاتهم اليومية، فقد أدى توفر الطاقة وشيوع استعمالها بالأشكال التي نعرفها الى تغيرات في حياة الأفراد وطرق تعاملهم، فنحن لم نعد بحاجة الى من يحضر لنا الأخشاب أو الفحم الى البيوت ولم نعد بحاجة الى الخروج الى الحقول لجمع الحطب اذ أن احتياجاتنا من الطاقة تأتي عبر أسلاك كهربائية من مصدر ليس ضروريا أن نعرف: أين يوجد؟ وكيف يعمل؟ ومن يعمل به؟ ولم يعد ضروريا حتى أن نقابل من يقرأ العداد الكهربائي في بيوتنا اذ باستطاعتنا إخبار الجهة المسؤولة بذلك ودفع القيمة لموظف قد لا تراه مرتين في حياتك، وان حصل أن حفظت ذاكرتك اسمه فانه بالتأكيد لن يحفظ اسمك بسبب مئات المراجعين أمثالك، وربما لا يكون هناك ضرورة حتى لأن تفعل ذلك بل يمكنك أن تطلب من البنك الذي تتعامل معه أن يقوم بخصم فواتير الكهرباء والغاز شهريا دونما حاجة لأن يكون لك أدنى علاقة بكل ذلك الجهاز الضخم الذي يعمل في مؤسسات خدمات الطاقة.

من بين الاجراءات المختلفة لتقليل استعمال الطاقة يجري في العادة التركيز على الحفاظ على الطاقة المستهلكة في البيوت والبنايات لأغراض التدفئة والتبريد، فقد رأينا في **الجدول رقم (٢)** أن الدول الصناعية المتقدمة تستهلك كميات كبيرة من الطاقة بشكل طاقة حرارية على درجة حرارة أقل من ١٠٠°م، ويندرج تحت هذا البند من الاستهلاك تلك الطاقة المستخدمة في تدفئة البيوت وتبريدها، ومادمنا نتكلم عن دول ذات طقس بارد بشكل عام (باستثناء بعض مناطق الولايات المتحدة الأمريكية) فان

التدفئة وتسخين المياه للاستعمالات المنزلية تنال نصيبا كبيرا من هذه الطاقة، ففي الولايات المتحدة الأمريكية يستهلك حوالي ربع الطاقة الاجمالية في أغراض التبريد والتدفئة وتسخين المياه، وفي أوروبا الغربية يستهلك أكثر من ربع الطاقة الاجمالية في أغراض التدفئة وتسخين المياه.

وأما بالنسبة لمنطقة الخليج فان طبيعة الطقس السائد في المنطقة لا تتطلب تدفئة البيوت والبنايات بقدر ما يتطلب الأمر تبريدها، إن تبريد البنايات في منطقة الخليج أمر جد شائع وكلنا يعرف هذه الحقيقة ويعيشها، لكن يترافق مع هذه الحقيقة حقيقة أخرى تقول: إننا نستهلك كميات كبيرة من الطاقة من أجل تشغيل المكيفات في البيوت والبنايات، ففي الكويت مثلا يستهلك حوالي ٦٠٪ من الطاقة الكهربائية المنتجة لأغراض التبريد، وفي أبو ظبي يستهلك حوالي ٩٠٪ من الطاقة الكهربائية المستعملة في المنازل لأغراض التبريد، وكما ذكرنا سابقا فان كفاءة محطات توليد الطاقة الكهربائية لا تتعدى ٣٥٪ لو أضفنا الى ذلك ما يفقد من الطاقة الكهربائية أثناء انتقالها عبر الأسلاك من محطات التوليد الى مكان الاستهلاك وأضفنا الى ذلك كفاءة جهاز التبريد نفسه لاكتشفنا اننا في الواقع لا نعمل الا على كفاءة اجمالية لا تتعدى ٢٠-٢٥٪، إن هذا يعني بكل بساطة أنه مقابل كل وحدة طاقة كهربائية نستعملها ونستفيد منها نقوم بتبذير ثلاث أو أربع وحدات من الطاقة الأولية.

دعونا نقدم مثالا حسابيا تقريبيا لتوضيح كمية الاستهلاك من الطاقة، لنفترض أن الحمل التبريدي لأحد البيوت يبلغ خمسة أطنان ولنفترض أن مكيف الهواء يعمل لمدة ست عشرة ساعة يوميا، في هذه الحالة فان الحمل التبريدي المطلوب طوال اليوم هو ثمانون طنا، الآن دعونا نحول هذه الأطنان التبريدية الى ما يعادلها من طاقة كهربائية، في الكويت يحتاج الطن التبريدي الواحد الى حوالي ١٫٥-٢ كيلوواط/ساعة (يتغير الاستهلاك تبعا لنوع نظام التبريد وللظروف المناخية السائدة)، لكن حيث

إننا نتعامل مع مثال تقريبي فسنفترض أن الطن التبريدي يحتاج الى ١٫٥ كيلوواط/ساعة. ان استهلاك جهاز التكييف في مثالنا هذا يساوي ١٢٠ كيلوواط/ساعة في اليوم الواحد (١٫٥ كيلوواط/ساعة / طن × ٨٠ طن/اليوم).

لنفترض اضافة الى ما تقدم أن الكفاءة الاجمالية لتوليد ونقل واستهلاك الطاقة الكهربائية هو ٢٥٪، يبلغ استهلاك الجهاز في هذه الحالة ما يعادل ٤٨٠ كيلوواط/ساعة من مصدر الطاقة الأولية، إن مثالنا لم ينته بعد بل نود أن نقوم بتحويل الطاقة المستهلكة الى ما يعادلها من نفط، حسب الاحصاءات التي تستعملها شركة النفط البريطانية فان الطن الواحد من النفط يعادل ١٢ الف كيلوواط/ساعة، ونستنتج من هذه الأرقام أن البيت الذي يحتاج الى جهاز تبريد بقدرة ٥ طن ويعمل لمدة ١٦ ساعة يوميا فانه يستهلك في الواقع طناً واحداً من النفط (على الأقل) كل ٢٥ يوماً. إننا نترك للقارىء مهمة حساب عدد الأطنان من النفط التي تستهلكها العمارات الضخمة التي يبلغ حملها التبريدي مئات الأطنان.

هل هناك حل آخر لتدفئة البيوت وتبريدها دون استعمال الكهرباء أو المحروقات الأخرى؟

لا يمكن تقديم إجابة حاسمة على هذا السؤال بنعم أو لا، انما المؤكد أن بالامكان تقليل متطلبات البيوت والبنايات من الطاقة المستعملة لأغراض التدفئة والتبريد، وهناك بالطبع حل سهل وهو أن يتحمل الانسان قساوة الظروف المناخية بردا وحرا، لكننا لسنا في معرض مطالبة الآخرين بتحمل الظروف القاسية، لكن من أجل الاجابة على السؤال الذي طرحناه دعونا نقم بجولة جغرافية تاريخية.

تذكر بعض المصادر أن سكان الكهوف القدماء في كولورادو في أمريكا كانوا يحفرون كهوفهم بحيث تواجه أبوابها جهة الجنوب، ففي الشتاء

حيث تكون الشمس منخفضة فان أشعة الشمس كانت تدخل الى داخل الكهوف لتصطدم بالحوائط الداخلية الخلفية للكهوف وتقوم بتسخينها، فينتج عن عملية التسخين هذه خزن الطاقة الحرارية في الكتل الصخرية مما يحفظ الكهف دافئا أثناء الليل، وأما في الصيف فان الشمس تكون مرتفعة ولا تدخل أشعتها الى داخل الكهف، واذا حدث أن كانت أشعة الشمس تدخل الى الكهف حتى في الصيف فان حجب الأشعة ما كان يحتاج الا الى مظلة من الخشب والأعشاب الجافة لحجبها وحجب آثارها الحرارية.

كتب المؤرخ اليوناني زينوفون في عام ٤٠٠ ق.م. «إن علينا أن نبني الواجهات الجنوبية (للبيوت) عالية للاستفادة من شمس الشتاء، والواجهات الشمالية أوطأ للتخلص من الرياح الباردة». أما المعماري الروماني فيتروفيوس فقد طرح العديد من الأفكار حول تصميم البنايات للأجواء والمواقع المختلفة مؤكدا وجود الفائدة من أشعة الشمس بإدخالها الى داخل البيوت في الشتاء وحجبها في فصل الصيف (٥).

أما في المناطق الحارة فان الأمر يستدعي تقليل تأثير أشعة الشمس على البيوت بحيث لا ترتفع درجة الحرارة الى مستويات تجعل الاقامة في هذه البيوت أمرا غير مريح، لو مشى أحدنا في شوارع أية مدينة عربية قديمة كالقدس ودمشق والقاهرة وبغداد ومدن الشمال الافريقي لاستطاع بكل سهولة رؤية الفروق في الجوانب المعمارية والتخطيطية بين هذه المدن وبين المدن الحديثة، فقد تميزت جدران البنايات بالسماكة أكثر مما هي عليه جدران البنايات الحديثة، وتميزت الشوارع بكونها ضيقة نسبيا والأهم من ذلك بكون بعضها ــ وبخاصة أماكن الأسواق والتجمع ــ مسقوفة مع وجود فتحات تهوية في السقف، كما نلاحظ أن البنايات كانت ملتصقة بعضها ببعض أو أن المسافات بينها ليست بعيدة، ثم نلاحظ أن الشبابيك لم

(٥) Carr, D.E., **Energy and the Earth Machine**, W.W. Norton and company, N.Y., U.S.A 1976

تكن كبيرة ولها في الغالب مظلة، كما أن الكثير من البيوت لها مظلات على بعض الجوانب.

إن تصميم مثل هذه البيوت وتخطيط مثل هذه المدن لم يكن أمرا عفويا ولم يكن عبثا، بل لقد كان بكل بساطة دليل توافق الانسان مع البيئة التي يعيش فيها، وسيبقى هذا المفهوم ــ مفهوم تناغم الانسان مع البيئة ــ هو حجر الزاوية في تخطيط المدن وتصميم البيوت والبنايات التي لا تتطلب الآ القليل من الطاقة لتدفئتها وتبريدها.

ولو انتقلنا الى الشمال الافريقي لرأينا أن طلاء البيوت باللون الأبيض هو ظاهرة عامة في تلك المنطقة، ولوجدنا أيضا أن في بعض المناطق منخفضات حفرت في جوانبها بيوت يعيش فيها الناس.

ولو أتينا الى منطقة الخليج لوجدنا أنه كانت ترتفع من البيوت أبراج طولها عدة أمتار مفتوحة من أعلى، ومن خلال هذه الفتحات كان ساكنو هذه البيوت يحصلون على هواء أبرد من الهواء الخارجي.

ولو ذهبنا الى أواسط أفريقيا أو جنوب شرق آسيا لوجدنا أن التصاميم التقليدية للبيوت والبنايات كانت متوافقة مع الأجواء السائدة في هذه المناطق بحيث يمكن العيش في هذه البيوت دون الحاجة الى الأجهزة الميكانيكية والكهرباثية لتبريدها أو تدفئتها.

ما الذي كان يدور في ذهن مصممي البيوت والبنايات التي تكلمنا عنها ؟ وما الذي استفادوا منه وأخذوه بعين الاعتبار حين صمموا هذه البيوت والبنايات؟

لا شك أن ما كان يدور في أذهانهم هو تصميم أماكن للسكن والعيش تكون مريحة إلى أقصى ما يمكن، وأما ما استفادوا منه فهو التصاقهم بالبيئة التي كانوا يعيشون فيها ومعرفتهم بالأمور الأساسية التي تحكم تصميم سكن مريح أو غير مريح.

الأمر الأساسي الذي يهمنا هو أن الحرارة التي تصل الى الأرض تأتي من الشمس بواسطة الاشعاع الشمسي، وان هذا المورد الحراري هو الذي يمكنه أن يدفىء البيوت ان كان ذلك هو المطلوب أو أن يحيلها جحيما ان كنا نعيش في منطقة حارة ولم نتعامل مع هذا المورد الحراري من منطلق علمي، فحين تسقط أشعة الشمس على أي جسم فانه يقوم بامتصاص قسم من الأشعة وعكس قسم آخر وامرار قسم ثالث (ان كان الجسم شفافا ويسمح بمرور أشعة الشمس)، ولكن عندما نتكلم عن البيوت والبنايات فاننا نتكلم عن مزيج من المواد كمواد البناء الصلبة التي تمتص الأشعة وتعكسها أو الزجاج الذي يمتص ويعكس ويمرر أشعة الشمس، اذا كان المطلوب هو تدفئة البيت فانه من المرغوب فيه السماح لأشعة الشمس بالنفاذ الى داخل البيت ليتم امتصاصها بواسطة الجدران الداخلية أو لتسخين هواء الغرفة، وكذلك السماح لسطوح البيت المختلفة بأن تمتص أشعة الشمس وتخزنها بشكل حرارة تتسرب من خلال السطوح الى داخل البيت، أما اذا كانت المنطقة حارة فان المطلوب هو العكس، أي تقليل آثار الحرارة الناتجة عن الاشعاع الشمسي، إن الامثلة التي ذكرناها سابقاً كانت في الواقع تستفيد من هذه الخصائص تحديدا.

إذن الشمس هي المصدر الأساسي الذي يؤثر على راحتنا داخل البيوت، ولذلك لابد من معرفة حركتها طوال العام ومعرفة الخصائص الحرارية لمواد البناء المختلفة حتى يتسنى لنا التعامل من منطلق علمي مع الشمس، واذا كنا نقول إن من الضروري معرفة حركة الشمس فاننا نستعمل ذلك مجازاً، اذ المعروف أن الأرض هي التي تدور حول الشمس وان دوران الأرض حول الشمس هو الذي يحكم علاقة أي موقع على سطح الارض مع الشمس، سنلجأ هنا الى التعبير المجازي ونفترض أننا موجودون في نقطة ثابتة وان الشمس هي التي تتحرك بالنسبة لمركزنا الثابت، وهو الأمر الذي تبدو فيه حركة الشمس بالنسبة لنا.

تعتمد زاوية سقوط أشعة الشمس على موقعنا على سطح الأرض بالنسبة لخط الاستواء شمالا أو جنوبا وعلى اللحظة الزمانية في السنة الشمسية، ففي بلد مثل الكويت يقع على خط عرض ٣٠° شمال خط الاستواء فان أشعة الشمس تسقط بزاوية تقترب من أن تكون عمودية على السطح الأفقي وقت الظهيرة خلال فصل الصيف، وأما في فصل الشتاء فان زاوية السقوط مع السطح الافقي تكون اقل من عمودية بكثير، ولو نظرنا الى سطح عمودي كحائط بناية فان الزاوية بين الشعاع الشمسي والحائط تكون صغيرة في وقت الظهيرة في فصل الصيف، وكبيرة وقت الظهيرة في فصل الشتاء، إن المهم في هذه العلاقة هو كمية الاشعاع الشمسي الساقطة عموديا على السطح سواء كان هذا أفقيا أو عموديا، فكلما ازداد الاشعاع الشمسي العمودي على أي سطح ازدادت كمية الطاقة الحرارية الواقعة على السطح المذكور، وعلى هذا الاساس فان الشمس حين تكون عمودية على السطح الافقي وموازية للسطح العمودي فان الاول هو الذي يتأثر بالاشعاع المباشر بينما لا يتأثر السطح العمودي الآ بحرارة الجو أو الأشعة المنتشرة.

الجانب الآخر المهم في العلاقة بين موقع المكان على الارض والشمس هو أنه بالنسبة للمكان على سطح الارض على خط عرض اكبر من ٢٣٫٥ درجة شمال خط الاستواء فإن الشمس تكون باستمرار في الجنوب في وقت الظهيرة وخلال بعض الساعات قبل وبعد الظهيرة مما يعني أن الواجهات الجنوبية تتعرض لأشعة الشمس لفترات طويلة، وخلال فصل الشتاء حين يكون اليوم قصيرا فان أشعة الشمس تسقط على الواجهة الجنوبية طول اليوم لكن بكميات مختلفة يمكن حسابها بسهولة.

فالواجهات الجنوبية اذن تتمتع بخصائص متميزة عن غيرها من الواجهات بسبب أن أشعة الشمس تسقط عليها لفترة طويلة خلال اليوم، ومن هنا ندرك لماذا لجأ سكان الكهوف القدماء في كولورادو في امريكا

الى حفر كهوفهم لتواجه الجنوب، ولماذا دعا ز ينوفون إلى بناء واجهات جنوبية كبيرة، القصد من هذا هو الحصول على اكبر كمية من الاشعاع على الواجهة الجنوبية، إذا كان هناك نافذة في الواجهة الجنوبية فان الشمس ستدخل الى داخل البناية بالطبع حيث تقوم بتدفئة المنزل، لكن اذا كنا نريد دخول اشعة الشمس في الشتاء فماذا عن الصيف حين لا نريد تأثيراتها الحرارية؟ الاجابة بسيطة وتكمن في بناء مظلة فوق الحائط الجنوبي تمتد الى الخارج بحيث تحجب هذه المظلة أشعة الشمس أثناء الصيف ساعات طويلة (حيث إن الشمس تكون مرتفعة) بينما لا تعرقل سقوطها أو نفاذها الى داخل البيت في الشتاء (حيث تكون الشمس منخفضة).

إن تركيزنا على حجب أشعة الشمس أو السماح لها بالسقوط على الجدران ينبع من أن أشعة الشمس المباشرة تشكل جزءا كبيرا من مجمل الاشعاع الشمسي وتحمل كمية كبيرة من الطاقة تلعب دورا كبيرا في مسألة تدفئة وتبريد البيوت، إن بالامكان ادراك هذه العلاقة بشكل واضح من خلال المقارنة بين الوقوف تحت أشعة الشمس أو الوقوف في الظل، ففي الصيف نلجأ عادة الى الظل بينما في الشتاء نستمتع بالجلوس تحت أشعة الشمس المباشرة.

إن التعامل مع الشمس للاستفادة من أشعاعاتها ايجابيا أو سلبيا ليس بالأمر المعقد بل هو غاية في السهولة ولا يتطلب سوى تقديم تصاميم معمارية ملائمة، إن لنا في التراث المعماري الماضي مصدرا خصبا ومعطاء في هذا المجال، كما أن العلوم الحديثة تسمح لنا بالتعامل مع الشمس واشعاعاتها بالشكل الذي نرغب فيه.

لكن اذا كان في استطاعتنا أن نقلل من تأثير أشعة الشمس على الواجهات الجنوبية حيث تسقط الشمس أطول فترة في اليوم فاننا مازلنا نواجه سقوط أشعة الشمس على الأسطح الأفقية (سطوح البنايات) وكذلك

انتقال الحرارة من الجو الحار في الخارج الى داخل البيوت.

في هذا المجال هناك طرق عديدة يمكن اللجوء اليها لتقليل انتقال الحرارة عبر مواد البناء المختلفة، وسنؤكد هنا على مسألتين هما معاملات انتقال الحرارة لمواد البناء المختلفة وكذلك قدرة مواد البناء على خزن الحرارة، وهو الأمر الذي يعتمد على كثافة مواد البناء وعلى حرارتها النوعية، إن كمية الحرارة التي تنتقل عبر وحدة مساحة أي سطح تتناسب طرديا مع معامل انتقال الحرارة للمادة المصنوع منها ذلك السطح وعلى فرق درجات الحرارة على جانبي السطح، لكن حيث إن درجة حرارة الجو الخارجي لاتقع تحت سيطرتنا بشكل كامل فان التركيز يتم في العادة على معامل انتقال الحرارة، غير أن معامل انتقال الحرارة الكلي لأي سطح يعتمد على سمك هذا السطح بمعنى أنه كلما ازداد سمكه انخفض معامل انتقال الحرارة، ولذلك فان استعمال الجدران السميكة في البنايات القديمة كان قائما على أساس تقليل معامل انتقال الحرارة وبالتالي تقليل كمية الحرارة المنتقلة عبر سطح الجدار في كلا الاتجاهين، ومن جانب آخر كلما ازداد سمك الجدار ازدادت كتلته واستطاع خزن كميات أكبر من الحرارة وهو الأمر الذي قد يؤدي الى انعكاسات سلبية.

ويلاحظ الفرد منا في الكويت أن البيوت تصبح حارة وقت المساء أكثر مما في الصباح رغم أن الشمس تكون في الصباح ساطعة، والسبب في ذلك هو أن انتقال الحرارة عبر الجدران والأسطح لا يتم بشكل فوري بل يحتاج الى وقت حتى تقطع الحرارة المسافة من طرف الى آخر، إن الحرارة التي تخزن في الجدار أثناء النهار تأخذ في التسرب الى داخل البيت باعتباره أبرد من الجو الخارجي، ولكن هذا لا ينفي الفوائد الايجابية التي يمكن الحصول عليها فيما لو تم استخدام الجدران السميكة بشكل علمي.

مما تقدم يتضح لنا أن المناطق الحارة تحتاج الى بنايات تتصف

بالجدران السميكة ذات معاملات انتقال الحرارة القليلة، ولسنا هنا في معرض المفاضلة بين مواد البناء اذ يقع هذا على عاتق المهندس المعماري، فالاسمنت مثلا موصل جيد للحرارة ويخزن كميات كبيرة منها مما لا يجعله ملائما للمناطق الحارة، لكن الاسمنت من جانب آخر مادة جيدة للبناء وقوية جدا والأغلب انه لا يمكن الاستغناء عنها، إذن ما العمل ؟

إن الحلول المطروحة تنصح باستعمال مواد العزل الحرارية التي تكون معاملات انتقال الحرارة فيها قليلة حيث إن معامل انتقال الحرارة الكلي لجدار معزول يكون في هذه الحالة قليلاً جدا مما يقلل بالتالي كمية الحرارة المنتقلة من الخارج الى داخل البناية، إن هذا بدوره يقود الى تقليل الحمل التبريدي المطلوب وبالتالي كمية الطاقة المطلوبة.

الآن إذا تم استعمال العوازل الحرارية فانه يصبح بالامكان الاستفادة من خصائص الجدران السميكة حتى ولو كانت مصنوعة من مواد بناء موصلة جيدة للحرارة، فالمطلوب في هذه الحالة عزل الجدران من الخارج أو وضع العازل في وسط الجدار بشكل (ساندويش). لا يختلف معامل انتقال الحرارة الكلي بغض النظر عن مكان وضع العازل؛ لكن هناك فائدة في عدم وضعه على الأسطح الداخلية للجدران، وتقوم هذه الفائدة على الاستفادة من الجدران المعزولة من الخارج والمعرّضة للداخل، واستخدامها خزانات للحرارة أو البرودة، وكما سبق أن ذكرنا فان مواد البناء تخزن الحرارة وكذلك فانها تفقد ما تخزن، أي أن درجة حرارتها تختلف باختلاف الجو المحيط بها، فاذا قمنا بتبريد غرفة فان الأسطح الداخلية للجدران تأخذ بالبرودة أيضا مما يسمح للحرارة بالانتقال من المناطق الحارة فيها الى السطح، وتدريجيا يأخذ الجدار بالبرودة، لكن حيث إن هذه الجدران معزولة عن الخارج فانها لا تكتسب حرارة بدل ما تفقد ولذلك فانها تبقى على درجات حرارة منخفضة، أي تكون بشكل خزان تبريدي. الآن لنفترض أن جهاز التكييف قد توقف لأي سبب من الأسباب فبالامكان في هذه

الحالة الاعتماد على الخزان التبريدي الذي تشكله الجدران حيث تأخذ باكتساب الحرارة من داخل الغرفة، إن هذا الاسلوب يؤدي بالفرد الى الشعور بالراحة والبرودة حتى لو توقف جهاز التكييف ساعات عديدة كما إنه يقلل من الفترة التي يعمل فيها جهاز التكييف مما يؤدي أيضا الى تقليل استهلاك الطاقة.

استعمال العوازل الحرارية في الكويت:

مازال استعمال العوازل الحرارية في البنايات في الكويت محدودا، وتعزى أسباب هذا الأمر الى رخص الطاقة الكهربائية من جانب بحيث إن المستهلك لا يتحمل التكلفة الحقيقية لانتاج الطاقة الكهربائية، وكذلك تعزى بعض الاسباب الى أن المعماريين لم يطرحوا في تصاميمهم مثل هذه الأفكار من جانب آخر. ولسنا هنا لمناقشة أسباب عدم استعمال العوازل رغم فوائدها الواضحة في تقليل استهلاك الطاقة، لكننا نود الاشارة الى بعض الجوانب الاقتصادية للمسألة.

لاشك أن ادخال المواد العازلة في تصاميم المباني سيزيد من تكلفتها الأولية مقارنة بالمباني التي لا تستعمل فيها هذه العوازل، ولكننا ذكرنا في نقاشنا السابق أن استعمال العوازل الحرارية يؤدي الى تقليل الحمل التبريدي المطلوب وبالتالي ستنخفض التكاليف الأولية لخدمات تكييف الهواء. لنفترض أن أحد البيوت المبنية دون عوازل حرارية يحتاج الى أجهزة تكييف هواء قدرتها ٢٠ طنا، فإذا قمنا باضافة عوازل حرارية الى هذا البيت فسنقلل الحمل التبريدي المطلوب الى ١٥ طنا مثلا أو أقل، وفي هذه الحالة يكون على صاحب البيت أن يدفع ثمن المواد العازلة كتكلفة اضافية، لكن من الجانب الآخر سيوفر صاحب البيت التكاليف الأولية لخمسة أطنان من التبريد، إذ أن عليه الآن أن يستعمل أجهزة بقدرة ١٥ طنا بدل ٢٠ طنا. وبالاضافة الى هذا التوفير الأولي في ثمن أجهزة التكييف فان صاحب البيت سيقل استهلاكه من الكهرباء وبالتالي

ستكون تكاليف التشغيل أقل، طبعا لم نأخذ في الاعتبار هنا تكاليف الصيانة السنوية لأجهزة التكييف التي تتناسب طرديا مع عدد أطنان التبريد.

من المحتمل أن تكون الآن تكاليف استعمال العوازل الحرارية أكثر من التوفير الناتج عن خفض ثمن اجهزة التكييف، غير أن هذا ليس مبررا لعدم استعمالها. وحين نقول إن تكاليف العوازل الحرارية أعلى من التوفير في ثمن أجهزة التكييف فاننا في الواقع نتكلم عن مئات قليلة من الدنانير فقط، واذا اعتمدنا على الارقام المتداولة في الكويت فان البيت الذي يحتاج الى ٢٠ طنا تبريديا تكون مساحته حوالي ٤٥٠ مترا مربعا، فإذا اضفنا الى ذلك مساحة الجدران الخارجية وطرحنا مساحة الشبابيك فان المساحة الاجمالية للجدران والأسطح تبلغ حوالي ٨٠٠ متر مربع.

لنفترض أن أسعار المواد العازلة هي حوالي دينارين كويتيين للمتر المربع الواحد الذي سمكه ٥ سم. ان هذا يعني أن التكلفة الاجمالية للمواد العازلة هي حوالى ١٦٠٠ دينار كويتي، ولنفترض جدلا أنها ٢٠٠٠ دينار، لكننا من جانب آخر افترضنا أن استعمال العوازل الحرارية سيؤدي الى توفير ثمن خمسة أطنان تبريدية، وحسب الأسعار السائدة في الكويت حاليا فان الطن التبريدي يكلف حوالي ٢٥٠ ــ ٣٠٠ دينار. إن التوفير الناتج في هذه الحالة يبلغ حوالي ١٥٠٠ دينار تقريبا مقابل حوالي ٢٠٠٠ دينار تكلفة المواد العازلة، إن الفارق بين الرقمين كما يظهر في المثال لا يتعدى مئات قليلة من الدنانير، واذا أخذناه كنسبة مئوية لتكلفة البيت الاجمالية فانه لن يضيف الى هذه التكلفة أكثر من ١٪. ان فروق الاسعار من مقاول الى آخر تزيد عن ١٪ في العادة، ولذلك يمكن القول باطمئنان ان استعمال العوازل الحرارية لن يكلف المستهلك شيئا يذكر بينما سيحصل هو على بيت يمكن العيش فيه حتى ولو انقطع التيار الكهربائي ساعات طويلة.

في دراسة للمهندس عبدالرحيم الرشيد، من وزارة الكهرباء والماء في دولة الكويت، حول تأثير استعمال العوازل الحرارية على الحمل التبريدي في البنايات تبين أن استعمال عوازل حرارية بسمك ٥ سم في أسطح وجدران بنايات مختلفة يؤدي الى تقليل الحمل التبريدي بما يتراوح من ١٢٫٦ ــ ٣٤٫٤٪ اعتمادا على طبيعة البناء وتصميمه واستعماله، ففي البنايات العامة حيث يكثر المراجعون تبرز الحاجة الى استعمال كميات كبيرة من الهواء الخارجي الذي يكون على درجة حرارة عالية، في هذه الحالة يشكل تبريد الهواء الخارجي جزءا كبيرا من الحمل التبريدي وهو الأمر الذي لا علاقة للعوازل الحرارية به مما يؤدي الي تقليل الحمل التبريدي بنسبة قليلة، أما في البيوت السكنية فان الحاجة الى الهواء الخارجي قليلة بسبب قلة عدد الساكنين في البيت مما يقلل الحمل التبريدي العام المطلوب لتبريد البيت، ففي هذه الحالة يبرز تأثير العوازل الحرارية بشكل واضح فهي تقلل الحمل التبريدي العام بحوالي الثلث (٦).،

إن استعمال العوازل الحرارية لا يقتصر على البنايات الجديدة فقط بل يمكن عزل البنايات الموجودة والتي بنيت منذ فترة، ففي الدراسة التي أشرنا اليها ظهر أن كمية تسرب الحرارة من خلال سطح البيت السكني تشكل حوالي ٢١٪ من الحمل التبريدي العام، ولو قمنا بعزل السطح فقط واستطعنا تخفيض معامل انتقال الحرارة الى ثلث قيمته الاصلية فان هذا كفيل بتقليل الحمل التبريدي بمقدار ١٥٪ تقريبا، ومن الجدير بالملاحظة أن عزل أسطح البيوت لن يؤثر على النواحي الجمالية للبيوت بعكس الامر مع الجدران في البنايات القائمة حيث يطرح عزلها بعض المشكلات الجمالية.

---

(٦) Abdul Rahim Irshaid, "Effects of Thermal Insulation and Means of Heat Rejection an Air conditioning Loads and Their Reflection on Total Building costs in countries of Hot Climates", **First Regional Symposium on Thermal Insulation in The Gulf States,** 30 - 31 Jan. 1979, Kuwait.

إننا على يقين بأن استعمال العوازل الحرارية في المباني في الكويت ومنطقة الخليج سيؤدي الى تقليل كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة في تبريد البيوت، وسيقلل نتيجة لذلك من مشكلات قطع التيار الكهربائي في الصيف حيث تكون الحاجة له كبيرة.

وسائل أخرى متنوعة:

وبالاضافة الى استعمال العوازل الحرارية فان هناك الكثير من العوامل الأخرى التي تؤثر في الاستجابة الحرارية للبنايات، فبالاضافة الى تظليل النوافذ ومنع أشعة الشمس من دخول البيت أثناء الصيف فان استعمال النوافذ ذات الزجاج المزدوج (طبقتين من الزجاج) مع وجود مسافة قليلة بين طبقتي الزجاج كفيل بتقليل معامل انتقال الحرارة عبر زجاج النافذة بمقدار النصف، واذا علمنا أن معامل انتقال الحرارة عبر النوافذ أعلى من ذلك عبر مواد البناء الأخرى توصلنا الى النتائج الايجابية المترتبة على استعمال النوافذ ذات الزجاج المزدوج.

هناك جانب آخر يتمثل في لون الطلاء المستعمل لطلاء أسطح الجدران الخارجية، اذ المعلوم أن للألوان خصائص مختلفة بالنسبة لامتصاص أو عكس الاشعاع الشمسي الساقط عليها، فالطلاء الأبيض بامكانه أن يعكس حوالي ٨٠٪ من الاشعاع الساقط عليه بينما لا يعكس اللون الاسود سوى ٣٪. أما (الطابوق) الأحمر فانه لا يعكس أكثر من ٢٣ ــ ٣٠٪ من الاشعاع الساقط، ولذلك فليس في الامر غرابة حين نلاحظ أن الكثير من مدن الشمال الأفريقي وبخاصة المناطق القديمة فيها قد تميزت تاريخيا بكونها مطلية باللون الأبيض.

إضافة الى ذلك فان علينا أن لا نهمل امكان أن يتدخل الانسان في التأثير على البيئة الخارجية ومحاولة تقليل درجة حرارة الجو المحيطة به، إن أفضل طريقة لذلك هو اللجوء الى زراعة الأشجار بشكل مكثف،

فالأشجار إضافة الى أنها تضفي صبغة جمالية على المنطقة التي تنبت فيها فإنها توفر مسألة التظليل للأسطح المجاورة مما يحميها من آثار سقوط أشعة الشمس عليها مباشرة، كذلك فان المياه تتبخر من أوراق الأشجار مما يؤدي الى تلطيف الأجواء المحيطة، وفوق هذا وذاك فإن أوراق الأشجار في النهار تخرج للجو الأوكسجين من عملية البناء الضوئي وهذا يجعل الجو صحيا بدرجة أكبر.

إن كل هذه العوامل تؤدي الى تقليل الحمل التبريدي للمباني وبالتالي الى تقليل كمية الطاقة المطلوبة لتبريدها، ان الاستفادة من المعطيات البيئية أمر ظاهر الاهمية اذ بدون التناغم مع البيئة لن يستطيع الانسان ضمان رفاهيته لفترة طويلة بل سيدخل في حرب مستمرة تدميرية يستنزف خلالها ماتقع يداه عليه من مصادر طبيعية هي أثمن بكثير من أن يتم تبذيرها لمقاتلة الطبيعة ذاتها.

الفصل التاسع

خصائص المصادر البديلة

يتطلب الاستخدام الفعال للمعطيات الطبيعية المختلفة تطوير الوسائل والأدوات الملائمة، وبدون ذلك لا يمكن للانسان الحصول إلا على منتجات الطبيعة الناجزة الجاهزة للاستعمال النهائي دون أي تدخل مباشر من جانبه للتأثير على هذه المعطيات وتطويعها لمصلحته، وقد كان هذا موقفا سلبيا من جانب الانسان ميّز المراحل الأولى من تاريخه التي كانت تعكس واقعه الحضاري المتأخر، الا أن تدخل الانسان التدريجي في التعامل مع المعطيات الطبيعية لتحويلها الى نتاجات تلبي احتياجاته كان يفرض عليه ضرورة اختراع وتطوير الأدوات والوسائل الملائمة لتحقيق ذلك الهدف، ويقينا ان تطويع كل معطى طبيعي جديد كان يفرض على الانسان تطوير الأدوات والمعرفة الملائمة ووضعها موضع التطبيق العملي، وباختصار كان التعامل مع المعطيات الطبيعية يفرض على الانسان تطوير التكنولوجيا الملائمة لذلك.

ولم يكن تطوير التكنولوجيا مسألة ذات طابع مجرد أو أكاديمي وهي لن تكون كذلك أبدا، ولم يحصل أن كانت التكنولوجيا مجموعة الآلات والأدوات والمعارف المتراكمة فقط بل كانت باستمرار وستبقى نتاجا اجتماعيا له أبعاده وتأثيراته ونتائجه على مختلف الأصعدة الحياتية، والواقع أن حياة الانسان نفسها ونمط معيشته كانت تتأثر وتتغير بالمنجزات التكنولوجية التي يحدثها الانسان وما يستتبع ذلك من توسيع لقدراته وامكاناته في التعامل مع المعطيات الطبيعية.

ولو نظرنا الى موضوع الطاقة في التاريخ البشري لوجدنا أنه قد ترتب على الانسان ضرورة تطوير التكنولوجيا الملائمة لاستغلال مصادرها ابتداء من صناعة الفأس لتقطيع الأشجار واستخدامها كوقود الى صناعة أشرعة السفن الشراعية وحتى بناء المفاعلات النووية، والواضح أيضا أن كل خطوة في هذا الاتجاه كانت تنتج تغييرات في نمط حياة الانسان وتفكيره وأساليب معيشته، وليس أدل على مدى تأثير الطاقة على حياة الانسان من التغيرات التي شهدها العالم بأسره في مرحلة ما بعد الحرب العالمية الثانية حين اتسع استخدام النفط كمصدر أساسي للطاقة، فقد أدى هذا الى تسهيل سبل الاتصال والمواصلات وشيوع استعمال وسائل النقل الميكانيكية وبناء محطات الطاقة، وقد انتجت هذه بدورها العديد من النتائج التي أثرت في كل منحى من حياة الأفراد وعلاقاتهم الاجتماعية وأنماط سكنهم وعملهم وراحتهم ولهوهم، ووصل الأمر الى الدرجة التي لم يعد في مقدور الفرد منا فيها التفكير بامكان وجود عالم لا تتوفر فيه مصادر لا تنضب من الطاقة.

إننا نعيش الآن مرحلة العد التنازلي لمصادر الطاقة الأحفورية من فحم وغاز ونفط، تلك المصادر التي أسهمت بشكل فعّال في تشكيل نمط حياتنا وتشكيل حتى أنماط سلوكنا الحالية، وقد أدى ادراك هذه الحقيقة الى أن أخذت المجتمعات المختلفة باتخاذ بعض الاجراءات الهادفة الى تقليل استهلاكها من الطاقة عبر اتباع مجموعة من الاجراءات الكفيلة بتحقيق ذلك، وليس أدل على ذلك من مجموعة الاجراءات التي اتخذها العديد من الدول عشية التطورات التي شهدها وضع الطاقة على الصعيد العالمي في أواخر عام ١٩٧٣ حين فرضت اجراءات تحديد السرعة القصوى للسيارات ومنع استخدام بعضها في العطل الاسبوعية ومنع استخدام الاعلانات الضوئية وحتى تحديد مستوى درجات الحرارة داخل المكاتب والمنازل بما فيها وقف استعمال أجهزة التدفئة وتبريد الهواء أحيانا، ناهيك عن رفع أسعار

الطاقة بشكل مستمر خلال السنوات الماضية، ودون شك سنشهد المزيد من هذه الاجراءات الهادفة الى تكييف أوضاع البشر مع المتاح من مصادر الطاقة الحالية.

لكن استجابة المجتمعات البشرية لم تتوقف عند حدود القبول بالأمر الواقع ومحاولة اطالة عمر المصادر الحالية للطاقة من خلال تقليل الاستهلاك فقط، بل إن المسألة تعدت تلك الحدود الى العمل الجاد للبحث عن مصادر جديدة للطاقة تكفل تزويد البشر باحتياجاتهم منها، والى أن يتم تطوير المصادر البديلة لتصل الى المستوى الذي تساهم به في تلبية نسبة عالية من احتياجاتنا من الطاقة فإننا سنعيش مرحلة انتقالية يجب علينا خلالها أن نكيف أنماط معيشتنا لتلائم طبيعة المصادر البديلة، وذلك أمر لامفر منه.

إن التحدي الكبير الذي يواجه المجتمعات البشرية هو مدى استجابتها للتغيرات التي يفرضها وضع الطاقة العالمي وما اذا كانت ستتمكن من اجتياز مرحلة الاعتماد على المصادر الأحفورية القابلة للنفاذ الى مصادر أخرى أكثر ديمومة مع ما تفرضها هذه المصادر من تغيرات ضرورية في حياة هذه المجتمعات، ليس بالامكان التنبؤ من الآن بما ستفرضه المصادر البديلة، الا أن مهمة التكيف مع الواقع الجديد ستكون أسهل اذا ما أخذنا بعين الاعتبار خصائص هذه المصادر وخصائص التكنولوجيا المطلوبة لاستخدامها وتطويعها لتلبية الاحتياجات البشرية، وسنقوم في هذا الفصل بالنظر الى هذه الخصائص محاولين استكشاف آفاقها ماأمكننا ذلك.

خصائص مصادر الطاقة البديلة:

إن خصائص مصادر الطاقة وطبيعتها عموما تفرض على الانسان تطوير التكنولوجيا الملائمة لاستغلالها، ويتضح هذا بجلاء فيما لو نظرنا الى مصادر الطاقة الشائعة حاليا، فاستخراج النفط مثلا فرض على الانسان تطوير تكنولوجيا الحفر عميقا في باطن الأرض للوصول الى منابعه، وفرض عليه

تطوير تكنولوجيا تكرير النفط الى مشتقاته العديدة وتطوير وسائل النقل الملائمة كخطوط الأنابيب الممتدة عبر الصحارى والبحار والمناطق الجليدية ناهيك عن صناعة السفن العملاقة لنقله عبر القارات، وكذلك الأمر مع المصادر الأخرى كالفحم والغاز وطاقة الانشطار النووي ومصادر طاقة الماء عند مساقط الأنهار إذ أن كل مصدر منها كان يفرض ضرورة تطوير التكنولوجيا الملائمة لاستغلاله، وبالنسبة لمصادر الطاقة البديلة فان خصائصها ستفرض بالضرورة تطوير المناسب من المعرفة والاجهزة والأدوات اللازمة لاستخدامها، وأهم هذه الخصائص مايلي:

١ ــ إن مصادر الطاقة البديلة المرشحة لأن تلعب دوراً هاماً في حياة الانسان وأن تساهم في تلبية نسبة عالية من متطلباته من الطاقة هي مصادر دائمة طويلة الأجل ذلك أنها مرتبطة أساسا بالشمس والطاقة الصادرة عنها، فالطاقة الشمسية التي تحدثنا عنها في فصل سابق هي طاقة الاشعاع الشمسي الصادر عن الشمس والواصل الى الأرض، وطاقة الهواء والرياح ليست الا إحدى تجسيدات تأثير هذا الاشعاع الشمسي على الغلاف الغازي المحيط بالكرة الأرضية وما ينشأ عنه من فروق في الضغوط الجوية من منطقة الى أخرى الأمر الذي يؤدي الى هبوب الرياح، أما الطاقة الحرارية في البحار والمحيطات فهي ليست سوى مخزون الطاقة الشمسية في مياه هذه التجمعات المائية الضخمة وماينشأ عنه من فروق في درجات الحرارة بين مياه السطح ومياه الأعماق، تلك الفروق التي تشكل مصدرا احتماليا للطاقة بوسع الانسان استخدامه، والحياة النباتية على الارض هي نتاج لعملية التمثيل الضوئي التي توفر لها أشعة الشمس مصدر الطاقة المطلوب، أما أمواج البحر ــ أحد مصادر الطاقة البديلة التي لم نتطرق إليها في الفصول السابقة ــ فهي نتاج لحركة الرياح التي هي بدورها إحدى أشكال الطاقة الشمسية.

الشمس ــ كما تقول النظريات العلمية الشائعة ــ ستعمر خمسة آلاف مليون سنة أخرى، وبالقياس الى عمر الانسان على الأرض فان هذه المدة تبدو حقا أبدية. واذا حدث أن عمر الانسان الكون طول هذه الفترة فالأغلب أن ما سيشغل ذهنه حينذاك سيكون مسألة أخرى غير توفير مصدر جديد للطاقة، ونتيجة لذلك، يمكننا القول إن مصادر الطاقة البديلة هي مصادر أبدية وأن تعاملنا معها لابد وأن ينطلق من هذا الاعتبار.

٢ ــ إن مصادر الطاقة البديلة رغم ديمومتها على المدى البعيد الا أنها لا تتوفر بشكل منتظم طول الوقت وعلى مدار الساعة، فهي ليست مخزونا جاهزا نستعمل منه ما نشاء متى نشاء. فمصادر الطاقة البديلة تتوفر أو تختفي بشكل خارج قدرة الانسان على التحكم فيها أو تحديد مقادير المتوفر منها. فشدة الاشعاع الشمسي مثلا تختلف من وقت الى آخر طول وقت شروقها في اليوم الواحد، فهو يبدأ من الصفر عند الشروق صباحا و يزداد تدريجيا الى أن يصل الى قيمته العظمى في منتصف النهار ليبدأ بعدها بالانخفاض تدريجيا ليصل الى الصفر مرة أخرى عند الغروب، ولا يتوقف الأمر عند اختلاف شدة الاشعاع الشمسي أثناء النهار الواحد فقط بل إن شدته تختلف من يوم الى آخر وان كان بشكل دوري، واذا كان بالامكان رصد حركة التغير هذه واستنباط المعادلات والقوانين الرياضية الكفيلة بوصفها فان هناك العديد من العوامل التي تؤثر على مقدار كمية الاشعاع الشمسي الواصل الى الأرض، ومن ضمن هذه العوامل الغيوم والأمطار والعواصف الرملية والترابية وكمية بخار الماء وثاني أوكسيد الكربون في الجو وهي العوامل التي لا يمكن التنبؤ بها جميعا ولا تقدير تأثيراتها على كمية الاشعاع الواصل الى الأرض.

وتنطبق نفس هذه الملاحظة على مصادر الطاقة البديلة الأخرى كطاقة

الهواء والرياح وطاقة أمواج البحر، فحين نتحدث عن الطاقة الهوائية فالمقصود بذلك هو الطاقة الناتجة عن سرعة الهواء، وتدلنا التحليلات النظرية على أن مقدار هذه يتناسب مع مكعب سرعة الهواء، ويعني هذا ببساطة أنه اذا تضاعفت سرعة الهواء فان كمية الطاقة الناتجة تتضاعف بمقدار ثماني مرات، وأما اذا انخفضت الى النصف فستنخفض الطاقة الى ثمن قيمتها الأصلية، وكما نعلم فانه من الصعب التنبؤ بالتغيرات اللحظية لسرعة الهواء بينما يمكننا الحديث عن القيمة الوسطى لهذه السرعة خلال الفصول المختلفة، ومع أنه لا يمكن التقليل من أهمية التنبؤ بالقيم الوسطى لسرعة الهواء الا أن ذلك لا يمنحنا القدرة على التنبؤ بكمية الطاقة الممكن توليدها من محطات الطاقة الهوائية على مدار الساعة، وأما بالنسبة لحركة أمواج البحر فانها لارتباطها بحركة الرياح تخضع للطبيعة العشوائية لهذه الحركة مما يجعل من الصعب حساب كمية الطاقة المتوفرة في الأمواج في لحظة زمنية معينة، وفي الحديث عن الطاقة الحرارية في البحار والمحيطات فاننا نتحدث في الواقع عن فروق درجات الحرارة بين مياه السطح ومياه الأعماق وهي الفروق التي تتغير مقاديرها في الصيف عنها في الشتاء، ومع أن رصد التغيرات هذه أكثر سهولة من حالة رصد مؤشرات أخرى في المصادر البديلة الأخرى الاّ أن ذلك لا ينفي حقيقة أننا نتعامل مع ظاهرة ذات طابع متغير.

٣ ــ إن شدة الطاقة في المصادر البديلة ليست عالية التركيز وبالتالي فان استخدام هذه المصادر يتطلب استعمال العديد من الأجهزة ذات المساحات والحجوم الكبيرة، والواقع أن هذا هو أحد أسباب ارتفاع التكلفة الأولية لأجهزة الطاقة البديلة وهو ما يشكل في نفس الوقت أحد العوائق أمام انتشارها السريع.

في الفصل الخاص بموضوع الطاقة الشمسية أشرنا الى أن أعلى كمية للاشعاع الشمسي العمودي على وحدة على سطح الغلاف

الغازي للأرض يبلغ ١٫٣٥ كيلوواط على المتر المربع تقريبا، ولاحظنا في **الشكل رقم (٥)** في نفس الفصل أن كمية الاشعاع الشمسي الساقط على المتر المربع الأفقي خلال اليوم الواحد على سطح الغلاف الغازي على خط عرض ٣٠° شمال خط الاستواء يتراوح ما بين ٦ كيلوواط في أوائل شهر يناير الى حوالي ١٢ كيلوواط وقت الانقلاب الصيفي في يونيو، لكن نتيجة لتأثير الغلاف الغازي على أشعة الشمس فان ما تتلقاه وحدة المساحة على سطح الأرض أقل من ذلك ويبلغ في المتوسط حوالي ٧٠-٧٥٪ من قيمة الاشعاع على سطح الغلاف الغازي، وبمعنى آخر فان الاشعاع الساقط طوال اليوم على المتر المربع في الكويت مثلا يتراوح ما بين ٤ كيلوواط وقت الانقلاب الشتوي في أواخر ديسمبر الى حوالي ٨ كيلوواط وقت الانقلاب الصيفي في أواخر يونيو.

وبالاضافة الى ما تقدم فانه ليس بالامكان الحصول على كل الطاقة من الاشعاع اذ أن ذلك يعتمد على كفاءة الأجهزة المستعملة، فالخلايا الشمسية المستعملة في التحويل المباشر لطاقة الاشعاع الشمسي الى طاقة كهربائية لا تعمل بكفاءة تزيد عن ١٠-١٢٪، وأما المجمعات الشمسية الحرارية فان كفاءتها تعتمد على درجة الحرارة المطلوبة لكنها لا تزيد عن ٤٠٪ من طاقة الاشعاع الشمسي بمجموعها واذا ما جرى تحويل الطاقة الحرارية المكتسبة الى تبريد أو كهرباء فان الكفاءة النهائية تنخفض عن ذلك كثيرا.

والطاقة الهوائية أيضا ليست شديدة التركيز اذ رغم أن هذه الطاقة تعتمد على مكعب سرعة الهواء فانها تعتمد في ذات الوقت على كثافته، وكما نعلم فان الهواء خفيف قليل الكثافة الأمر الذي يؤثر على درجة تركيز الطاقة فيه، ولذلك فان زيادة كمية الطاقة الناتجة من الطواحين الهوائية يتطلب زيادة عددها أو تكبير أحجامها، فالطاحونة الهوائية التي قطر

مروحتها ٢٠ قدماً (٦ أمتار تقريبا) وتعمل بكفاءة تعادل ٧٠٪ لا تنتج أكثر من نصف كيلوواط حينما تكون سرعة الهواء ١٠ أميال في الساعة، وبهذه المناسبة نشير الى أن معدل سرعة الهواء في الكويت تبلغ حوالي ١٠ أميال في الساعة.

أما في مجال الطاقة الحرارية في البحار والمحيطات فان العامل المؤثر في استخدام هذا المصدر هو الفارق في درجات الحرارة بين مياه السطح ومياه الأعماق وفي المناطق الملائمة للاستفادة من هذا المصدر يتراوح الفارق ما بين ١٠ ـــ ٢٠ درجة مئوية الأمر الذي ينعكس على الكفاءة المنخفضة لأنظمة الطاقة المستعملة فيها والتي لا تتعدى ٢-٣٪.

٤ ـــ تتوفر أشكال مختلفة من الطاقة في مصادر الطاقة البديلة الأمر الذي يتطلب استعمال تكنولوجيا ملائمة لكل شكل من الطاقة البديلة، فالطاقة الشمسية هي طاقة الموجات الكهرومغناطيسية المكونة لأشعة الشمس وتتجسد على الأرض بعدة أشكال منها الضوء والحرارة، أما الطاقة الهوائية فهي طاقة حركة الهواء نفسه وهي بذلك طاقة ميكانيكية، وبالنسبة للطاقة في البحار والمحيطات فانها طاقة حرارية لكن نتيجة لانخفاض درجات الحرارة في مياه البحار والمحيطات فان هذه الطاقة لا تستعمل حراريا بل يجري تحويلها الى طاقة كهربائية.

واذا نظرنا الى مصادر الطاقة الأحفورية نجد أنها الطاقة المخزونة في المواد الهيدروكربونية التي تتكون منها وان الاسلوب الشائع للاستفادة من هذه الطاقة هو تحويلها الى طاقة حرارية ومن ثم الدخول في سلسلة من عمليات التحويل للحصول على شكل الطاقة النهائي، فمثلا يتطلب انتاج الكهرباء من مصادر الطاقة الأحفورية ضرورة تحويلها في البداية الى طاقة حرارية ثم الى طاقة حركية وبالتالي الى طاقة كهربائية، أما في مصادر الطاقة البديلة فان بالامكان انتاج الطاقة الكهربائية مباشرة بواسطة الخلايا

الشمسية أو حراريا بواسطة عمليات التحويل الحراري أو ميكانيكيا باستخدام الطواحين الهوائية.

واضافة الى ما تقدم فان تعدد اشكال الطاقة في مصادر الطاقة البديلة يتيح تلبية المتطلبات من أشكال الطاقة المختلفة التي يحتاجها الانسان في الاستعمال النهائي، فالطاقة الشمسية يمكنها تزويده بجزء كبير من حاجته من الطاقة الحرارية (مياه ساخنة، تدفئـة، بخار)، والطاقة الهوائية يمكنها تلبية جزء من متطلباته من الطاقة الحركية (مضخات المياه، ضاغطات الهواء).

والواقع أن تعدد أشكال الطاقة في مصادر الطاقة البديلة يتفق مع تعدد احتياجات الانسان من الطاقة ويمثل في ذات الوقت نقطة ايجابية في جانب استغلال هذه المصادر، فبدل الدخول في متاهات تحويل الطاقة من شكل الى آخر عبر سلسلة من العمليات التي تؤدي الى إهدار نسبة عالية من مخزون الطاقة الأساسي في المواد الأحفورية فان مصادر الطاقة تتيح انتاج الطاقة المطلوبة مباشرة، فالخلايا الشمسية تتيح امكان انتاج الطاقة الكهربائية مباشرة والمجمعات الشمسية تنتج طاقة حرارية بينما تنتج الطواحين الهوائية طاقة حركية.

٥ ــ إن ضعف تركيز الطاقة في بعض المصادر البديلة والطاقة الشمسية بالذات يتفق مع كثافة الطاقة المطلوبة في العديد من نقاط الاستهلاك، وتتضح صحة هذه العلاقة وتتبلور بشكل أفضل اذا ما اتبعت الاجراءات الكفيلة بتقليل استهلاك الطاقة، ففي الكويت مثلا يبلغ الحمل التبريدي الأقصى في البنايات ذات الطابق الواحد ما يعادل ١٥٠ كيلو كالوري للمتر المربع الواحد في الساعة، وفي ظل اتباع اجراءات حفظ الطاقة فان بالامكان تقليله الى ما يعادل ١٠٠ كيلو كالوري للمتر المربع في الساعة، الا أن قيمة الحمل

التبريدي تتغير مع اختلاف درجة الحرارة خارج البناية ولذلك سنفترض أن معدل الحمل التبريدي خلال اليوم الواحد يساوي ٧٥ كيلو كالوري للمتر المربع، ويعني هذا أن كل الحمل التبريدي المطلوب خلال اليوم يساوي ١٨٠٠ كيلو كالوري، واذا افترضنا أن كفاءة تحويل الطاقة الشمسية الى فعل تبريدي تساوي ٢٥٪ بسبب كفاءة المجمعات الشمسية ومعامل اداء جهاز التبريد الامتصاصي فان الاشعاع الشمسي المطلوب لتحقيق ما تقدم يعادل ٧٢٠٠ كيلو كالوري على المتر المربع في اليوم الواحد، ولو عدنا الى **الجدول رقم (٢)** في الفصل الخاص بالطاقة الشمسية لوجدنا أن الاشعاع الشمسي في اليوم يصل الى حوالي ٧٠٠٠ كيلو كالوري على المتر المربع في اليوم الواحد في الصيف.

يتبين مما تقدم أن ضعف تركيز الطاقة في المصادر البديلة ليس أمرا سلبيا بالضرورة بل انه يتفق في الواقع مع جزء كبير من احتياجاتنا من الطاقة، فحتى لو نظرنا الى المسألة في فصل الشتاء حين تكون هناك حاجة للتدفئة ويكون الاشعاع الشمسي أقل منه في فصل الصيف فعلينا أن نأخذ بعين الاعتبار أن التدفئة تتطلب تجميع الاشعاع الشمسي على درجات حرارة أقل من تلك المطلوبة للتبريد مما يرفع من كفاءة المجمعات الشمسية اضافة الى أن التدفئة تعني ضخ الحرارة داخل المبنى الأمر الذي لا يتطلب استعمال وسائل وسيطة تقلل من الكفاءة النهائية لتحويل الطاقة الشمسية الى طاقة للاستعمال النهائي.

هذه هي أهم خصائص مصادر الطاقة البديلة التي ستفرض بالضرورة استعمال التكنولوجيا الملائمة لاستغلالها واستخدامها في تلبية متطلبات البشر من الطاقة. وسنتطرق فيما يلي إلى بعض خصائص التكنولوجيا المطلوبة.

خصائص تكنولوجيا مصادر الطاقة البديلة:

حظيت الطاقة الشمسية باهتمام أوسع مما حظيت به المصادر البديلة

الأخرى وذلك بسبب توفرها في أرجاء العالم المختلفة وبسبب ضخامة كميات الطاقة التي ترسلها للأرض وبسبب تعدد أشكال استعمالها، وتأتي الطاقة الهوائية في المرتبة الثانية ذلك أن هذا المصدر من الطاقة حظي باهتمام كبير في أواخر القرن الماضي وأوائل القرن الحالي اضافة الى أن الطاقة الهوائية تتوفر على مستوى العديد من دول العالم، وأما بالنسبة للمصادر البديلة الأخرى كالطاقة الحرارية في البحار والمحيطات وطاقة المد والجزر فانها ذات طابع موضعي اذ ليست كل المناطق المأهولة في العالم مناطق بحرية، وليست كل المناطق البحرية ملائمة لاستغلال المصدرين السالفي الذكر، وتنطبق ذات الملاحظة على استخراج الوقود من المحاصيل الزراعية الغنية بالكربوهيدرات ذلك أن زراعة هذه المحاصيل لا تتوفر الا في مناطق محددة من العالم، وعلى ذلك فان الخصائص التكنولوجية التي سندرجها ترتبط بالطاقة الشمسية والطاقة الهوائية أكثر من غيرها من المصادر الأخرى، لكن هذا لا ينفي أن بعض هذه الخصائص ينطبق على المصادر الأخرى في ذات الوقت:

١ ــ إن الأجهزة والمعدات المطلوبة لاستغلال المصادر البديلة كبيرة الحجوم والمساحات وتتطلب توفير المواقع حيث يمكن تركيبها، ولكونها كبيرة الحجم واسعة المساحة فانها تتطلب كميات كبيرة من المواد الخام لتصنيعها، فزيادة الاستفادة من الطاقة الشمسية تتطلب العمل على زيادة كفاءة المجمعات الشمسية واستعمال أعداد كبيرة منها، ومع ازدياد الحاجة للطاقة تبرز الحاجة الى استعمال المزيد من المجمعات. وعلى سبيل المثال تحتاج تلبية متطلبات الكويت من الطاقة الكهربائية باستخدام الطاقة الشمسية الى مساحة من المجمعات لا تقل عن خمسين كيلو متراً مربعاً، واذا أضفنا الى ذلك المساحة المطلوبة للمنشآت المرافقة وللاعتبارات العملية في انشاء مثل تلك المحطة فان مساحة المحطة الكلية ستتضاعف مرات عديدة، وبالمقارنة مع المساحة التي تشغلها المحطات الكهربائية العاملة في الكويت

في الوقت الحاضر فان المحطة الشمسية أكبر حجما بمرات عديدة وتتطلب مساحات أوسع بكثير مما تتطلبه المحطات الحالية، وأما بالنسبة للطاقة الهوائية فان زيادة قدرتها على استخدام الطاقة الهوائية يتطلب زيادة قطر عجل الطاحونة، الاّ أن هناك اعتبارات عملية تلعب دورا في تحديد حجم الطاحونة الأمر الذي يفرض ضرورة زيادة أعداد الطواحين الهوائية، ويظهر فرق الحجوم فيما اذا قارنا بين حجم الطاحونة التي يبلغ قطرها حوالي ٦ أمتار وتنتج حوالي نصف كيلوواط على سرعة هواء تساوي ١٠ ميل في الساعة بحجم موتور كهربائي له ذات القوة، فالموتور الكهربائي أصغر بما لا يقارن من حجم الطاحونة.

٢ ــ إن تخزين الطاقة بأشكالها المختلفة أمر أساسي في أنظمة استخدام مصادر الطاقة البديلة، فمصادر الطاقة البديلة لا تتميز بطابع الانتظام في تزويد الطاقة ذلك أن توفرها يخضع لاعتبارات كثيرة، فالاشعاع الشمسي كما ذكرنا تتغير شدته أثناء اليوم الواحد ومن يوم الى آخر، وسرعة الهواء تتغير بشكل لحظي وعشوائي في الغالب، ويترتب على ذلك أن العلاقة بين العرض والطلب في المصادر البديلة أمر شديد التعقيد وحتى تنشأ حالة من التوافق بينهما يجب تخزين الطاقة بأشكال مختلفة.

تفرض مشكلة التخزين مشكلاتها الخاصة وتتطلب تكنولوجيا ملائمة، فحين يكون المطلوب خزن طاقة حرارية لتدفئة بيت مثلا تستعمل خزانات الماء أو خزانات صخرية يتم تحديد حجومها بناء على كمية الطاقة المراد خزنها، وفي العادة تكون حجوم الخزانات كبيرة بسبب الخصائص الفيزيائية للمواد المستعملة لخزن الطاقة ولأنه لا يمكن استعمال المخزون الاّ في مجال محدد من درجات الحرارة، فالطاقة الحرارية المخزونة في خزان ماء حار لا تستعمل الاّ في مجال درجات الحرارة بين ٩٥ـ ٨٠ درجة مئوية، وأما ما دون ذلك فانها ليست ذات قيمة تذكر لعمليات التبريد.

ومن أجل التغلب على مشكلة الحجوم في أنظمة الخزن الحراري يجري

اجراء التجارب على بعض الأملاح الكيماوية لخزن الطاقة فيها بواسطة تغيير طورها من حالة الى أخرى، وفي بعض هذه الأنظمة تؤدي إضافة الحرارة الى الملح الى تحليله الى مكوناته الرئيسية وحين تتحد هذه المكونات مرة أخرى فانها تقوم باطلاق الطاقة الحرارية التي اكتسبتها في المقام الأول، الآ أن إحدى المشكلات التي تواجه خزن الطاقة الحرارية في الأملاح تكمن في أن تكرار عملية تحللها واتحاد مكوناتها يؤدي الى فقدان جزء منها لخصائصه الكيماوية وعجزها بالتالي عن الاتحاد مرة أخرى، ومع ذلك فن الضروري استعمال الأملاح التي لا تشكل هي أو مكوناتها خطرا على الحياة البشرية أو تكون مصدرا للتلوث، ويفضل أيضا أن تكون رخيصة الثمن ومتوفرة بكميات كافية.

وفي أنظمة الطاقة البديلة ذات القدرات الكبيرة يتطلب الأمر استعمال وسائل خزن غير التي ذكرناها سابقا وبخاصة اذا كان المطلوب خزن الطاقة بغير شكلها الحراري، ومن أهم أنظمة خزن الطاقة في هذا المجال :ـــ

أ ـــ استعمال الطاقة الزائدة عن الحاجة في ضخ المياه الى خزان مرتفع واعادة استخدام الطاقة الكامنة هذه في تشغيل التوربينات وانتاج الطاقة الكهربائية.

ب ـــ ضغط الهواء تحت ضغوط عالية في خزانات كبيرة تبنى خصيصا لهذا الغرض ومن ثم استعمال الهواء المضغوط في ادارة التوربينات أو تشغيل الآلات والأدوات المختلفة.

جـ ـــ استعمال الطاقة الزائدة في انتاج الهيدروجين بالطرق الحرارية أو الكيماوية أو الكهربائية واعادة استعماله كوقود عند الحاجة.

د ـــ خزن الطاقة الزائدة بشكل طاقة حركية في دولاب الموازنة Fly Wheel

في الواقع أن بعض أنظمة خزن الطاقة التي أشرنا اليها هي قيد الاستعمال في بعض محطات الطاقة الحرارية مثل استعمال الطاقة الكهربائية الزائدة عن الحاجة في ضخ المياه الى خزانات عالية أو في

ضغط الهواء في خزانات، وبالنسبة للانظمة الأخرى فهي في مرحلة البحث والتطوير واجراء التجارب ودراسة جدواها العملية والاقتصادية.

٣ ــ ان المستوى التكنولوجي المطلوب لتصنيع قطاع واسع من أجهزة ومعدات الطاقة الشمسية والهوائية ومعداتها هو في الواقع في متناول معظم دول العالم ذلك ان هذا المستوى ليس مرتفعا ولا معقدا، فصناعة المجمعات الشمسية لا يحتاج الى أجهزة معقدة ولا تكنولوجيا جد متطورة، وكذلك الأمر مع الطواحين الهوائية التي لا يتطلب تصنيعها ذلك المستوى التكنولوجي المرتفع، ومن المفارقات التاريخية أن الفرس هم أول من اخترع الطاحونة الهوائية واستعملوها في ضخ المياه وقد حصل ذلك قبل حوالي الفي عام، واذا كانت القدرة قد توفرت في الماضي السحيق لصناعة الطواحين الهوائية فلا يوجد حقا ما يبرر غيابها في الوقت الحاضر.

ومن الأهمية بمكان أن نؤكد هنا على ضرورة أن تقوم الأمم المختلفة بتصنيع أجهزتها الخاصة باستخدام مصادر الطاقة البديلة ذلك أن هذه المصادر كما ذكرنا تحتاج الى أجهزة ومعدات كثيرة تحتاج بدورها الى أموال طائلة لشرائها، والأهم من ذلك هو أن شراء أجهزة استخدام مصادر الطاقة البديلة يعني في الواقع استيراد هذه الطاقة ذاتها، فالمصادر البديلة كمعطيات طبيعية لا تعني الكثير ما لم يجر استغلالها لصالح المجموعة البشرية المعنية وبوساطة المجموعة ذاتها، فالطاقة البديلة أبعد ما تكون في وقتنا الحاضر عن أن تصبح سلعة تصدر الى الخارج بل على العكس من ذلك فان الأجهزة المطلوبة لاستغلالها هي السلع التي يترتب على من لا ينتجها ضرورة استيرادها، وعلى ذلك فان الدول النفطية التي تعتبر دولا مصدرة للطاقة قد تتحول في المستقبل الى دول مستوردة للطاقة اذا عجزت عن تطوير صناعاتها الخاصة بانتاج الأجهزة المطلوبة لأنظمة الطاقة البديلة، ولتقريب الصورة الى الذهن نقول ان توفر الماء والأرض في الوطن العربي لا يعني الكثير مادام هذا الوطن يستورد غذاءه من الخارج، وكالأرض والماء

كذلك الشمس والهواء وكل معطيات الطبيعة الأخرى التي تتحدد قيمتها وأهميتها بالتفاعل البشري معها.

التطويرات المستقبلة:

مازالت تكنولوجيا الطاقة البديلة في مراحلها الأولى وما زال العالم يتلمس طريقه بحثا عن أفضل السبل والوسائل للتعامل معها، ويقينا بان تكثيف الاهتمام بالمصادر البديلة سيؤدي الى تطويرات مستقبلية في تكنولوجيا الطاقة البديلة تهدف الى زيادة كفاءة استغلالها بأرخص التكاليف، ولا يمكننا في هذه المرحلة الحديث عن اختراع معين أو تطوير محدد سيجعل من المصادر البديلة معينا للطاقة لا ينضب وبأرخص التكاليف، إن مثل ذلك الحل السحري ليس مطروحا على جدول أعمال العلماء والباحثين والجهات المختصة بالطاقة البديلة، الا أن هذا لا يعني غياب جهود البحث والتطوير الهادفة الى رفع كفاءة التعامل مع المصادر البديلة بل إن العديد من الدول تخصص المزيد والمزيد من الاعتمادات لتطوير أجهزة جديدة ورفع كفاءة الأجهزة المتوفرة، ويمكننا القول بأن جهود البحث والتطوير تتركز حول مسألة أساسية وهي تقليل كلفة وحدة الطاقة، فالأجهزة المستعملة في أنظمة الطاقة البديلة تقوم بتحويل طاقة المصادر البديلة الى أحد أشكال الطاقة الملائمة للاستعمال النهائي للبشر، وفي خلال عمر هذه الأجهزة فانها تقوم بتحويل كمية معينة من الطاقة لقاء تكلفة اقتصادية محددة، وفي تقديرنا أن التطويرات المستقبلة ستتركز بشكل أساسي على زيادة كمية الطاقة الناتجة وتقليل كلفتها، وسعيا نحو تحقيق هذا الهدف يمكننا تحديد ثلاثة مجالات للتطويرات المستقبلية:

١ ــ رفع كفاءة الأجهزة المستعملة حاليا في أنظمة الطاقة البديلة، ويشتمل هذا المجال على زيادة قدرة الأجهزة المستعملة على الاستفادة من الطاقة المتوفرة وتقليل حجم ما تفقده، ففي حديثنا عن الخلايا الشمسية مثلا رأينا أن كفاءتها الحالية لا تتعدى ١٠-١٢٪

بينما تبلغ كفاءتها النظرية حوالي ٢٥٪ وبذلك فمازال المجال مفتوحا أمام الباحثين لمضاعفة كفاءة هذه الخلايا، وأما في المجمعات الشمسية الحرارية فهناك مهمات أخرى تتركز حول تحسين مزايا الأسطح الانتقائية لزيادة قدرتها على امتصاص جزء أكبر من طاقة الطيف الشمسي وتقليل ابتعاثها.

٢ ــ العمل على تقليل أسعار الأجهزة المستعملة في أنظمة الطاقة البديلة، ومن ضمن التطويرات المحتملة في هذا المجال يمكننا أن نشير الى امكان استعمال بعض المواد الرخيصة والى تطوير طرق انتاج الأجهزة نفسها سواء كان ذلك لتطوير طرق انتاج جديدة أو الدخول في مرحلة الانتاج الموسع الذي يؤدي في العادة الى تقليل كلفة الوحدة من المنتجات، ومن الأمثلة البارزة في هذا المجال التطورات التي شهدتها صناعة الخلايا الشمسية حيث إن سعرها انخفض خلال السنوات الماضية بشكل ملحوظ، ومن بين الأهداف التي وضعتها وزارة الطاقة الأمريكية دعم الأبحاث الهادفة الى تقليل كلفة الخلايا الشمسية لتصل الى نصف دولار للواط الواحد في عام ١٩٨٥ بدل السعر الحالي الذي يتراوح بين ٨ـ١٠ دولار للواط الواحد.

٣ ــ تحسين خصائص الأجهزة المستعملة في أنظمة الطاقة البديلة لمقاومة آثار الظواهر الطبيعية من اشعاع شمسي ودرجة حرارة وأمطار ورياح وثلوج وعواصف رملية وترابية. فانظمة الطاقة البديلة ستعمل تحت ظروف طبيعية قاسية تؤثر على كفاءة الأجهزة وعمرها. وبالتالي يتطلب الاستخدام الفعال والاقتصادي للمصادر البديلة ضرورة انتاج الأجهزة القادرة على تحمل هذه الظواهر وعلى الاحتفاظ بكفاءتها العالية لأطول مدة ممكنة.

هذه هي بعض مجالات التطوير المستقبلي لأجهزة الطاقة البديلة، وبدون شك فانها ليست المجالات الوحيدة التي ستشهد تطورات مستقبلة بل

إن الكثير من الأفكار والآراء القيّمة ستظهر مستقبلا كما ستظهر الكثير من المشكلات العملية التي تتطلب حلولا، وستشكل هذه مجتمعة مجموعة تحديات يترتب على العلماء والمختصين والباحثين ضرورة الاستجابة لها وتقديم الحلول العلمية والعملية سعيا نحو تحقيق هدف تطويع المصادر البديلة لخدمة الانسان.

المحتوى

صفحة

المؤلف في سطور

د. سعود يوسف عياش

- ولد في جينين بفلسطين عام ١٩٤٧.
- تخرج في كلية الهندسة الميكانيكية في بغداد عام ١٩٧٠، ثم حصل على درجة الدكتوراه في الهندسة الميكانيكية من جامعة ادنبره في اسكتلندا عام ١٩٧٨.
- يعمل حاليا باحثا في قسم الطاقة بمعهد الكويت للابحاث العلمية.
- قام بنشر العديد من البحوث العلمية في ميكانيك السوائل والطاقة الشمسية منها:

ـ الاشعاع الشمسي في الكويت، في ندوة العزل الحراري في دول الخليج العربي ـ الكويت ١٩٧٩.
ـ استخدام مصادر الطاقة البديلة في تصميم المساكن الملائمة للبيئة ـ قطر ١٩٨٠.
ـ مستقبل الطاقة الشمسية في دول الخليج العربي (سينشر في مجلة دراسات الخليج والجزيرة العربية ابريل ١٩٨١).

الكتاب القادم

ارتقاء الانسان

تاليف: ج. برونوفسكي

ترجمة: د. موفق شخاشيرو

مراجعة: زهير الكرمي

الكويت	٢٥٠	فلسا	ليبيا	٢٥	قرشا	عمان	٤	ريال
السعودية	٥	ريال	المغرب	٥	دراهم	اليمن الجنوبية	٤٠٠	فلس
العراق	٣٠٠	فلسا	تونس	٥٠٠	مليم	اليمن الشمالية	٥ر٤	ريال
الاردن	٢٥٠	فلسا	الجزائر	٥	دنانير	البحرين	٤٠٠	فلس
سوريا	٣	ليرات	مصر	٢٥٠	مليما	قطر	٥	ريال
لبنان	٥ر٢	ليرة	السودان	٢٥٠	مليما	الامارات العربية	٥	درهم

الاشتراكات : يكتب بشأنها الى المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب.
ص ب ٢٣٩٩٦ ـ الكويت

٢٥٠
فلسًا

مطابع الأنباء - الكويت